

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

CLIPPEDIMAGE= JP411329792A  
PAT-NO: JP411329792A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11329792 A  
TITLE: MICROWAVE SUPPLY CONTAINER

PUBN-DATE: November 30, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SUZUKI, NOBUMASA	N/A
MATSUO, MANABU	N/A
ODA, HIROHISA	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
CANON INC	N/A

APPL-NO: JP10359179

APPL-DATE: December 17, 1998

INT-CL (IPC): H05H001/46; C23C016/50 ; C23F004/00 ;  
H01L021/205 ; H01L021/3065  
; H01L021/31 ; H01Q021/06

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide uniform microwave radiation intensity distribution by concentrically arranging a plurality of circular wave guide paths having a plane-shaped H surface having a plurality of slots separately installed each other and a rectangular cross section vertical to the advancing direction of a microwave so that the H surface becomes the same plane.

SOLUTION: This microwave supply container 3 has a circular wave guide 3a having an H surface on which a plurality of slots are separately installed and a rectangular cross section vertical to the advancing direction (direction vertical to space) of a microwave. Microwaves introduced

from a microwave  
guide inlet 13 into the microwave supply container 3 change  
courses in the  
opposite directions each other with a distributor 10 such as  
an E branch block,  
and are propagated into a circular wave guide path 3a.  
Active species of gas  
or gas ions are sufficiently supplied also to the vicinity of  
the center O of a  
space 9 where the slots 3b do not exist. Uniform plasma  
treatment is conducted  
over the whole treating surface of a treated object W.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-329792

(43)公開日 平成11年(1999)11月30日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

B

C

C 2 3 C 16/50

C 2 3 C 16/50

E

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

D

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 28 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号

特願平10-359179

(62)分割の表示

特願平10-135100の分割

(22)出願日

平成10年(1998)5月18日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 鈴木 伸昌

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72)発明者 松尾 学

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(72)発明者 小田 博久

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

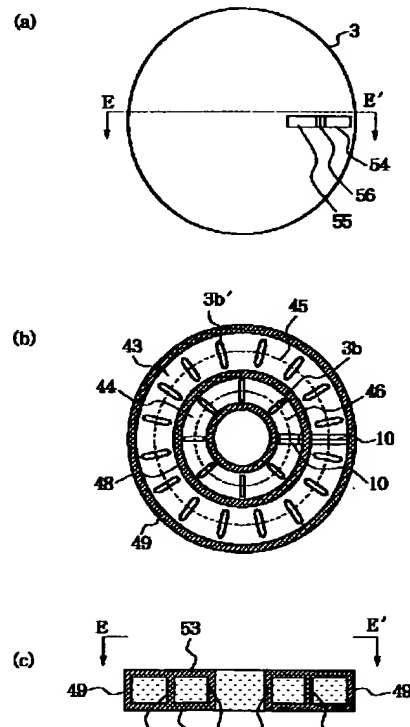
(74)代理人 弁理士 丸島 儀一

(54)【発明の名称】 マイクロ波供給器

(57)【要約】

【課題】 大面積均一な平板状の高密度低電位プラズマを発生できる、マイクロ波を提供する。

【解決手段】 容器1内に配された被処理体Wに対向して設けられ誘電体窓4を透してマイクロ波を容器1内に導入するマイクロ波供給器において、平板状のH面に所定の間隔で設けられていた複数のスロットを有する環状導波路を複数同心状に有していることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いに離間して設けられた複数のスロットを有する平面状のH面と、マイクロ波の進行方向に垂直な矩形断面と、を有する環状導波路を該H面が同一平面となるように複数同心状に備え、各環状導波路の該平面状のH面に設けられた該複数のスロットより、マイクロ波を供給するマイクロ波供給器。

【請求項2】 前記複数の環状導波路を構成する各々の導波路の中心を結んで形成される環の周長が管内波長の整数倍であり、かつ、該環にそって少なくとも管内波長の1/2間隔で該スロットが放射状に形成されている請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項3】 前記マイクロ波の進行方向に垂直な該スロットの長さは、管内波長の1/4乃至3/8の範囲にある請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項4】 前記各環状導波路へのマイクロ波の導入口は、他方のH面に設けられており、かつ導入口には該マイクロ波をH面に平行な二方向に分配し該各環状導波路内の両側に伝搬させる手段が設けられている請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項5】 前記各環状導波路は無終端導波路である請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項6】 前記環状導波路には、該環状導波路を1周以上伝搬するに充分な電力のマイクロ波が供給される請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項7】 前記電力は、該環状導波路を2周以上伝搬するに充分な電力のマイクロ波である請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項8】 前記環状導波路は、その内部に定在波が生じるように、周長が定められている請求項1に記載のマイクロ波供給器。

【請求項9】 互いに周長の異なる複数の無終端環状導波路を同心状に配し、それらの平面状のH面をそれぞれ同一平面とし、そこに複数のスロットを設けたマイクロ波供給器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多重環状導波路を有するマイクロ波供給器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】マイクロ波をプラズマ生起用の励起源として使用するプラズマ処理装置としては、プラズマ重合装置、CVD装置、表面改質装置、エッチング装置、アッシング装置、クリーニング装置等が知られている。

【0003】こうしたいわゆるマイクロ波プラズマ処理装置を使用するCVDは例えば次のように行われる。即ち、マイクロ波プラズマCVD装置のプラズマ発生室及び/又は成膜室内にガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入してプラズマ発生室内にプラズマを発生

成膜室内に配された被処理体上に堆積膜を形成する。そして同様の手法で有機物のプラズマ重合や酸価、窒化、フッ化等の表面改質を行うこともできる。

【0004】また、いわゆるマイクロ波プラズマエッチング装置を使用する被処理体のエッチング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、該装置の処理室内にエッチャントガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入して該エッチャントガスを励起及び/又は分解して該処理室内にプラズマを発生させ、これにより該処理室内に配された被処理体の表面をエッチングする。

【0005】また、いわゆるマイクロ波プラズマアッシング装置を使用する被処理体のアッシング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、該装置の処理室内にアッシングガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入して該アッシングガスを励起及び/又は分解して該処理室内にプラズマを発生させ、これにより該処理室内に配された被処理体の表面即ちホトレジストをアッシングする。アッシング同様にして、被処理体の被処理面に付着した不要物を除去するクリーニングを行うこともできる。

【0006】マイクロ波プラズマ処理装置においては、ガスの励起源としてマイクロ波を使用することから、電子を高い周波数をもつ電界により加速でき、ガス分子を効率的に電離、励起させることができる。それ故、マイクロ波プラズマ処理装置については、ガスの電離効率、励起効率及び分解効率が高く、高密度のプラズマを比較的容易に形成し得る、低温で高速に高品質処理できるといった利点を有する。また、マイクロ波が誘電体を透過する性質を有することから、プラズマ処理装置を無電極放電タイプのもので構成でき、これが故に高清浄なプラズマ処理を行い得るという利点もある。

【0007】こうしたマイクロ波プラズマ処理装置の更なる高速化のために、電子サイクロトロン共鳴(ECR)を利用したプラズマ処理装置も実用化されてきている。ECRは、磁束密度が87.5mTの場合、磁力線の周りを電子が回転する電子サイクロトロン周波数が、マイクロ波の一般的な周波数2.45GHzと一致し、電子がマイクロ波を共鳴的に吸収して加速され、高密度プラズマが発生する現象である。こうしたECRプラズマ処理装置においては、マイクロ波導入手段と磁界発生手段との構成について、代表的なものとして次の4つの構成が知られている。

【0008】即ち、(i)導波管を介して伝搬されるマイクロ波を被処理基体の対向面から透過窓を介して円筒状のプラズマ発生室に導入し、プラズマ発生室の中心軸と同軸の発散磁界をプラズマ発生室の周辺に設けられた電磁コイルを介して導入する構成；(ii)導波管を介して伝送されるマイクロ波を被処理基体の対向面から釣鐘状のプラズマ発生室に導入し、プラズマ発生室の中心

磁コイルを介して導入する構成；(iii)円筒状スロットアンテナの一種であるリジターノコイルを介してマイクロ波を周辺からプラズマ発生室に導入し、プラズマ発生室の中心軸と同軸の磁界をプラズマ発生室の周辺に設けられた電磁コイルを介して導入する構成(リジターノ方式)；(iv)導波管を介して伝送されるマイクロ波を被処理基体の対向面から平板状のスロットアンテナを介して円筒状のプラズマ発生室に導入し、アンテナ平面に平行なループ状磁界を平面アンテナの背面に設けられた永久磁石を介して導入する構成(平面スロットアンテナ方式)である。

【0009】又、米国特許第5,034,086号の明細書には、ラジアルラインスロットアンテナ(RLSA)を用いたプラズマ処理装置が開示されている。

【0010】或いは、特開平5-290995号公報や、米国特許第5,359,177号の明細書や、EP0564359公報には、終端付環状導波管を用いたプラズマ処理装置が開示されている。

【0011】これらとは別に、マイクロ波プラズマ処理装置の例として、近年、マイクロ波の均一で効率的な導入装置として複数のスロットが内側面に形成された環状導波管を用いた装置が提案されている(特開平5-345982号公報、米国特許第5,538,699号)。

【0012】このマイクロ波プラズマ処理装置を図29に、そのマイクロ波供給手段を図28に示す。

【0013】501はプラズマ発生室、502はプラズマ発生室501を大気側と分離する誘電体窓、503はマイクロ波をプラズマ発生室501に供給するための円筒状の外形をもつスロット付無終端環状導波管、505はプラズマ発生用ガス供給手段、511はプラズマ発生室501に連結した処理室、512は被処理体、513は基体512の支持体、514は基体512を加熱するヒータ、515は処理用ガス供給手段、516は排気口、521はマイクロ波を左右に分配するブロック、522は曲面523に設けられたスロットである。又、524は仕切板、525はマイクロ波導入口である。

【0014】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。

【0015】排気系(不図示)を介してプラズマ発生室501内及び処理室511内を真空排気する。続いてプラズマ発生用ガスをガス供給口505を介して所定の流量でプラズマ発生室501内に導入する。

【0016】次に排気系(不図示)に設けられたコンダクタンスバルブ(不図示)を調整し、プラズマ発生室501内を所定の圧力に保持する。マイクロ波電源(不図示)より所望の電力を環状導波管503を介してプラズマ発生室501内に供給する。

【0017】この際、環状導波管503内に導入されたマイクロ波は、分配ブロック521で左右に二分配さ

搬する。管内波長の1/2または1/4毎に設けられたスロット522から誘電体窓502を透してプラズマ発生室501にマイクロ波が供給され、プラズマ527を生成する。

【0018】この時に処理用ガス供給管515を介して処理用ガスを処理室511内に供給しておくことと処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持体513上に載置された被処理体512の表面を処理する。

【0019】このようなマイクロ波プラズマ処理装置を用いることにより、マイクロ波パワー1kW以上で、直径200mm程の空間に±3%以内の均一性をもって、電子密度 $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、電子温度3eV以下、プラズマ電位20V以下的高密度低電位プラズマが発生できるので、ガスを十分に反応させ活性化状態で被処理体に供給でき、かつ入射イオンによる被処理体の表面ダメージも低減するので、低温でも高品質で高速な処理が可能になる。

【0020】しかしながら、図29に示したような高密度低電位プラズマを発生するマイクロ波プラズマ処理装置を用いて、例えばアッシング処理の場合のように、100mTorr(約13.3322Pa)以上の高圧領域で処理を行う場合、プラズマの拡散が抑制されるため、プラズマが周辺に局在し基体中央部分の処理速度が低下することがある。

【0021】又、特開平7-90591号公開特許公報には、円盤状のマイクロ波導入装置を用いたプラズマ処理装置が開示されている。この装置ではガスを導波管内に導入し、導波管に設けられたスロットからガスをプラズマ発生室に向けて放出している。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】特開平7-90591号公報に記載の装置では、導波管内でプラズマが発生しないように、ガスの供給圧力、導波管内のコンダクタンス及びスロットのコンダクタンス、排気圧力等を精密に調整しなければならない。従って最適圧力が互いに異なるCVD、エッチング、アッシング等のいずれにも共通に使用できる装置を設計することが非常に難しい。

【0023】そして、近年要求される直径305mmの12インチウエハー(300mmウエハーと呼ぶこともある)やそれに相当する面積のガラス基板等の表面を処理する為には、均一大面積で且つ薄い高密度プラズマの層が必要とされる。

【0024】その為には、ガス供給手段の構成及び/又はマイクロ波供給手段の構成を更に改良する必要がある。

【0025】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の目的は、均一なマイクロ波放射強度分布が得られるマイクロ波供給器を提供することにある。

薄い高密度プラズマの層を発生し得るマイクロ波供給器を提供することにある。

【0027】本発明の第3の目的は、直径300mm以上のウェハ或いはこれに相当する大面積の被処理基体をプラズマ処理できるマイクロ波供給器を提供することにある。

【0028】本発明は、互いに離間して設けられた複数のスロットを有する平面状のH面と、マイクロ波の進行方向に垂直な矩形断面と、を有する環状導波路を該H面が同一平面となるように複数同心状に備え、各環状導波路の該平面状のH面に設けられた該複数のスロットより、マイクロ波を供給するマイクロ波供給器であることを特徴とする。

【0029】又、本発明は、互いに周長の異なる複数の無終端環状導波路を同心状に配し、それらの平面状のH面をそれぞれ同一平面とし、そこに複数のスロットを設けたマイクロ波供給器に特徴がある。

【0030】これにより、均一且つ大面積の強度分布をもつマイクロ波を放射・供給できる。

【0031】

【発明の実施の形態】図1は、本発明のマイクロ波供給器が用いられる好適な実施の形態によるプラズマ処理装置の主要部品を示している。

【0032】1は内部が減圧可能な容器、2はその上に被処理体を保持する為の保持手段、3は容器1内にプラズマを発生させる為のマイクロ波を供給するマイクロ波供給手段（マイクロ波供給器又はマイクロ波アンテナと呼ぶこともできる。）である。

【0033】そして、4は、誘電体窓、7は容器1内にガスを供給するガス供給手段である。

【0034】図2は、図1に示す部品を用いて構成したプラズマ処理装置の断面図である。

【0035】マイクロ波供給器3は、互いに離間して設けられた複数のスロット3bを有するH面3cと、マイクロ波の進行方向（図2中紙面に垂直な方向）に垂直な矩形断面と、をもつ環状導波路3aを備えている。

【0036】マイクロ波導入口13より、マイクロ波供給器3内に導入されたマイクロ波は、E分岐ブロックのような分配器10により互いに反対向きに進路を変えて、環状導波路3a内を伝搬していく。

【0037】環状導波路3aは、みかけ上一本の矩形導波管のE面を曲げて、両端を連結した格好をしている。

【0038】環状導波路3a内を伝搬・進行していく途中で、下方のH面3cに設けられた複数のスロット3bからマイクロ波が放射される。

【0039】各スロット3bから放射されたマイクロ波は、マイクロ波供給器3の下方にある誘電体窓4を透過して、容器1内のプラズマ発生空間9内に供給される。

【0040】容器1内のプラズマ発生空間9内は、排気

態にある。又、ガス供給手段7のガス放出口7aから、ガスがプラズマ発生空間9内に放出されている。

【0041】よって、プラズマ発生空間9内に供給されたマイクロ波により、グロー放電が生じ、ガスの構成分子はイオン化したり、活性種となったりする。プラズマはスロットの下方にドーナツ状に生じたり、又はH面の下面に連続する層状（円板状）に生じたりする。

【0042】ガス供給手段7のガス放出口7aは、マイクロ波供給器3の環状導波路3aのH面3cに向けてガスを放出するように設けられている。

【0043】その為、ガス放出口7aから放出されたガスは、スロット3b下方の高密度プラズマ領域を経て、マイクロ波供給器3の中心0付近に向かう。

【0044】従って、スロット3bの存在しない空間9の中心0付近にもガスの活性種又はガスのイオンが充分供給される。

【0045】この為被処理体Wの被処理面全面に亘って、均一なプラズマ処理が施せる。

【0046】図3は、マイクロ波供給器の環状導波路内におけるマイクロ波の伝搬と、スロットからのマイクロ波の放射の様子を説明する為の模式図である。

【0047】図3の（a）は、環状導波路を上方から見た時の様子を示し、図3の（b）は、BB'線による断面を、図3a（c）はCC'線による断面を示している。

【0048】マイクロ波導入口13付近はE面分岐の等価回路となっており、マイクロ波導入口13より導入されたマイクロ波は時計回りd<sub>2</sub>と反時計回りd<sub>1</sub>とに分配されるように進路を変更する。各スロットはマイクロ波の進行方向d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub>と交差するように設けられており、マイクロ波はスロットからマイクロ波を放出しながら進む。

【0049】環状導波路は無終端である為、方向d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub>に伝搬していくマイクロ波は互いに干渉し合い、所定のモードの定在波を生成する。3gは導波路の中心を結んで形成される環（輪）を示しており、この長さ即ち周長を管内波長（路内波長）の整数倍とすれば、定在波を生成し易くなる。

【0050】図3の（b）はマイクロ波の進行方向に垂直な面を示しており、導波路の上下の面3cは電界EFの向きに垂直なH面となっており、導波管の左右の面3dは電界EFの向きに平行なE面となっている。

【0051】そして、このように導波路のマイクロ波進行方向に垂直な断面は矩形断面になっている。

【0052】マイクロ波導入口13から環状導波路3a内に導入されたマイクロ波MWは、分配器10で図中左右に二分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって伝搬する。

【0053】図中EFは、マイクロ波の進行方向に垂直で且つ導波路3aのH面に垂直な電界ベクトルを示して

れたスロット3bから誘導体窓4を透して放射された漏れ波EWは、スロット4近傍にプラズマP1を生成する。また、誘電体窓4の内面524Sに垂直な直線に対してブリュースタ角以上の角度で入射したマイクロ波は、誘電体窓4内面524Sで全反射し、誘電体窓4内面524Sを表面波SWとして伝搬する。表面波SWのしみだした電界によってプラズマP2が生成される。

【0054】こうしてガスは、発生した高密度プラズマにより励起され、被処理体Wの表面を処理する。

【0055】このようなプラズマ処理装置を用いることにより、マイクロ波パワー1kW以上で、直径300mm以上の大口径空間に±3%以内の均一性をもって、電子密度 $10^{12}/\text{cm}^3$ 以上、電子温度3eV以下、プラズマ電位20V以下的高密度低電位プラズマが発生できるので、ガスを十分に反応させ活性な状態で被処理面に供給できる。しかも、圧力2.7Pa、マイクロ波電力2kWとした時、誘電体窓内面から8~10mm離れた位置でマイクロ波による電流は検出できなくなる。これは非常に薄いプラズマの層が出来ることを意味する。よって、入射イオンによる基板表面ダメージも低減するので、低温でも高品質で高速な処理が可能になる。

【0056】図4は、マイクロ波供給器のスロットの位置と、ガス放出口の位置と、被処理体の位置とを示している。

【0057】lwは、被処理体Wの一端から他端までの距離（H面に平行な方向の間隔）を示しており、Siウエハのようにディスク状の被処理体であれば、その口径に相当する。8インチウエハであればlwは約200mmである。ガラス基板のように四角形の被処理体であれば、その辺即ち縦又は横の長さに相当する。

【0058】図4の(a)において、lgは、一方のガス放出口からそれに対向する位置にある別のガス放出口までの距離（H面に平行な方向の間隔）であり、距離lgは距離lwより長くなっている。

【0059】lsは1つのスロット長さを示しており、lsoは一方のスロットの外端から該スロットに対向する位置にある他方のスロットの外端までの距離（H面に平行な方向の間隔）を示しており、 $lso \cong lg$ の関係を満足する。

【0060】そして、本発明の実施の形態においてより好ましくは、スロットが設けられたH面に垂直な方向において、 $l_1 < l_2$ なる関係を満足するとよい。ここで $l_1$ はスロット直下にある誘電体窓下面（内面）からガス放出口7aまでの距離（法線方向間隔）を示す。

【0061】 $l_2$ はガス放出口7aから被処理体Wの被処理面までの距離（法線方向間隔）を示す。

【0062】このように、ガス放出口の位置を被処理体Wよりも誘電体窓4により近い位置に定めることにより、ガスの励起効率又は分解効率をより一層高めること

【0063】図4の(b)は、図4の(b)同様にマイクロ波供給手段のスロットの位置と、ガス放出口の位置と、被処理体の位置とを示しており、図4の(a)の例の変更例である。

【0064】lwは、被処理体Wの一端から他端までの距離を示しており、Siウエハのようにディスク状の被処理体であれば、その口径に相当する。12インチウエハであればlwは約300mmである。ガラス基板のように四角形の被処理体であれば、その辺即ち縦又は横の長さに相当する。

【0065】lgは、一方のガス放出口からそれに対向する位置にあるガス放出口までの距離であり、距離lgは距離lwより短くなっている。こうして、放出されたガスがスロット直下のプラズマ密度の高い領域を介して中心0付近に容易に流れつく。

【0066】lsは1つのスロットの長さを示しており、lsoは一方のスロットの外端から該スロットに対向する位置にある他方のスロットの外端までの距離を示しており、 $lso < lg$ の関係を満足する。

【0067】そして、本発明の実施の形態においてより好ましくは、スロットが設けられたH面に垂直な方向において、 $l_1 < l_2$ なる関係を満足するとよい。

【0068】ここで $l_1$ はスロット直下にある誘電体窓下面（内面）からガス放出口7aまでの距離を示す。

【0069】 $l_2$ はガス放出口7aから、被処理体Wの被処理面までの距離を示す。

【0070】このように、ガス放出口の位置を被処理体Wよりも誘電体窓4により近い位置に定めることにより、ガスの励起効率又は分解効率をより一層高めることができる。

【0071】特に図4の(b)の関係を満たす装置は、図4の(a)に比べて直径300mm以上のウエハ又はそれに相当する基板のような大面積被処理体の処理により適している。

【0072】（マイクロ波供給手段）本発明に用いられるマイクロ波供給手段としては図1~図3に示したように矩形断面をもち、そのH面に複数のスロットを有する環状導波路（環状導波管）が好ましく用いられる。より好ましくは無終端であることが望ましい。

【0073】図1の例は、矩形導波管を曲げて環状にしたリング状の外形であったが、本発明に用いられるマイクロ波供給手段は、図5に示すように円盤状の外形をもつものであってもよい。

【0074】図5は、参考例によるマイクロ波供給器を示す。

【0075】図5のマイクロ波供給器は、無終端環状の凹部33とマイクロ波導入口13となる開口が形成された第1の導電性部材32と、複数のスロット3bが形成された比較的薄い円板状の第2の導電性部材31との組



【0076】(a)は断面を、(b)は第1の導電部材32を、(c)は第2の導電部材31をそれぞれ示している。

【0077】このようにスロット3bを有するH面を取りはずし可能に構成すれば次のような効果を奏する。

【0078】スロットの形状、スロットの大きさ、スロットの数、スロットの分布、等が異なる複数種の第2の導電部材31を予め作製しておけば、第2導電部材31を必要とするマイクロ波の放射強度やプラズマ処理に応じて適切なものに交換して用いることができる。これによりマイクロ波供給器の設計の自由度が増し、且つ低コストでマイクロ波供給器を作製できる。

【0079】又、円板状の第2導電部材31は、破線DLにおいて、中心部をくり抜いてドーナツ形に加工しても良いことは勿論である。

【0080】そして、この第2導電部材31は、第1導電部材32と前述した誘電体窓とにより挟持されて組み立てられる。

【0081】図6は、本発明に用いられる別のマイクロ波供給手段を示している。図6の(a)はその縦の断面を、図6の(b)はDD'線における横の断面を示している。

【0082】このマイクロ波供給器3は、(b)に示すように角がとれた四角形の環状導波路3aを有しており、フラットパネルディスプレイ用のガラス基板等、四角形の基板或いは太陽電池用のウエブ基板を被処理体とする場合に好適である。

【0083】このマイクロ波供給手段3においては、矩形導波管5から導入されたマイクロ波は、分配器10により時計回りd<sub>2</sub>と反時計回りd<sub>1</sub>とに分かれて進行しつつ、平面状のH面3cに設けられたスロット3bよりマイクロ波を放出する。両方向d<sub>1</sub>、d<sub>2</sub>に進むマイクロ波は互いに干渉しながら進み減衰していく。導波路3a内のマイクロ波の伝搬が安定すると、導波路3a内では定在波が生じる。

【0084】スロット3bから放射されたマイクロ波は、図3を参照して説明したような原理に基づいて、誘電体窓4を透して容器1内のプラズマ発生空間内に供給される。

【0085】容器1内では、ガスが斜めに設けられたガス放出口7aから放出されており、誘電体窓4の直下で励起され図中の矢印GFで示すように流れる。

【0086】以上説明した本発明のマイクロ波プラズマ処理装置に用いられる環状導波路を構成する部材の材質は、導電体であれば使用可能であるが、マイクロ波の伝搬ロスをできるだけ抑えるため導電率の高いAl、Cu、Ag/Cuメッキしたステンレス鋼などが最適である。本発明に用いられる環状導波路への導入口は、環状導波路内のマイクロ波伝搬空間に効率よくマイクロ波を

けてH面に垂直にマイクロ波を導入し導入部で伝搬空間の左右方向に二分配するものでもよいが、H面に平行な伝搬空間の接線方向から導入することも可能である。

【0087】本発明に用いられるスロットの形状は、マイクロ波の伝搬方向に垂直な方向の長さが導波路内の波長の(管内波長)の1/4以上であれば、矩形でも楕円形でもS字形でも十字形でもアレイ状でもなんでもよい。本発明に用いられるスロット間隔は、特に限定されるわけではないが、干渉によりスロットを横切る電界が強め合うように、少なくとも、管内波長の1/2間隔でスロットが配されるようにする。特に、管内波長の1/2が最適である。なお、スロットは、たとえば、1~10mm幅、40~50mm長さの縦長の開口が好ましい。また、スロットの配置としては、たとえば、環状導波路の環の中心に対して放射状配置とすることも好ましいものである。

【0088】具体例を図を参照して説明する。

【0089】図7は本発明のマイクロ波供給手段に用いられる各種スロットの形状を示す。

【0090】図7の(a)はマイクロ波の進行方向d<sub>1</sub>(d<sub>2</sub>)に対して、その長手方向が交差する長さl<sub>1</sub>のスロットであり、ピッチl<sub>p</sub>をもって互いに離間して設けられている。

【0091】図7の(b)はマイクロ波の進行方向d<sub>1</sub>(d<sub>2</sub>)に対して、チルト角θをもって交差するスロットであり、進行方向d<sub>1</sub>(d<sub>2</sub>)と垂直な方向の成分l<sub>1</sub>をもち、ピッチl<sub>p</sub>をもって互いに離間して設けられている。

【0092】図7の(c)はS字形のスロットを示している。

【0093】スロットの配置間隔即ちピッチl<sub>p</sub>は前述したとおり導波路内波長(管内波長)の1/2又は1/4にするとより好ましい。

【0094】そしてスロットのマイクロ波の進行方向に垂直な方向の長さl<sub>1</sub>は管内波長の1/4乃至3/8の範囲にするとより好ましい。

【0095】又、スロットは全て等間隔、例えば管内波長の1/2ピッチで配される必要はなく、図8に示すように、等ピッチで配されたスロット群が、管内波長の1/2より長い間隔を置いて配されていてもよい。

【0096】図中破線3gは、環状導波路の中心を結んで形成される環(隔)であり、この周長を管内波長の整数倍にするとよい。

【0097】又、投入されるマイクロ波の電力はマイクロ波放出強度の均一性向上の為に、環状導波路内を1周以上より好ましくは2周以上伝搬し得る程度にするとよい。この場合は、分配器10を省いた方がよいこともある。

【0098】(誘電体窓)本発明に用いられる誘電体窓

## 11

得るが、ガスを透過させることはない形状又は材料で構成される。

【0099】その形状は、図1に示したようにH面下方全てを覆うような円板、又はドーナツ状のものであってもよいし、或いはスロット部分のみを塞ぐように各スロットに対応して設けられてもよい。しかしながら、真空容器の組み立てを容易にし、スロットの設計の自由度を幅広くする為には、各スロット共通の板状の部材で構成した方がより好ましいものである。

【0100】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において用いられる誘電体としては、酸化シリコン系の石英や各種ガラス、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{LiF}$ 、 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{BaF}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ などの無機物が適当であるが、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミドなどの有機物のフィルム、シートなども適用可能である。

【0101】特に石英、アルミナ等からなる板状のものが好ましく用いられる。

【0102】(容器) 本発明に用いられる容器としては、ガスを置換する目的又はプラズマを内部で発生させる目的の為に、大気圧より低い圧力に減圧し得る容器が用いられる。

【0103】容器を構成する部材としては、アルミニウム、ステンレス等の導電体、又は石英やシリコンカーバイド等の絶縁体、或いは導電性部材と絶縁性部材との組み合わせ等により作製される。

【0104】絶縁体を用いる場合には、前述した誘電体窓と一体化して容器を構成することもできる。

【0105】又、導電性容器の内面を絶縁体の膜で被覆したものであってもよい。

【0106】そして、内部を少なくとも $0.1\text{mTorr}$  (約 $1.33 \times 10^{-2}\text{Pa}$ ) 程度に減圧できるように構成する。

【0107】(ガス供給手段) 本発明に用いられるガス供給手段としては、マイクロ波供給手段のH面に向けてガスを放出する放出口を備えたものが用いられる。ガス放出口に連通するガス放出路をH面に対して垂直又は斜めに形成することで、容易にガス放出口の向きを定められる。

【0108】ガス放出口は図1に示すように環状導波路に沿って、互いに離間して設けられた複数の開口であってもよいし、図9の(a)のように環状導波路に沿って設けられたスリットであってもよい。

【0109】或いは、図9の(b)のように複数のガス供給管とすることも出来る。

【0110】ガスの放出口のH面と平行な方向の位置は、図4に示したようにすることが、より好ましいもので

## 12

【0111】そして、これらのガス供給手段は、不図示のマスフローコントローラーやバルブや継手等を介してガスボンベ又はベーパーライザーに接続される。

【0112】被処理体の保持手段は、その保持面が平面であってもよいし、ピン等により数点で保持されるものであってもよく、保持面ないし保持点は導電体又は絶縁体等の各種材料により構成し得る。保持手段には更に、加熱手段や冷却手段が併設されていてもよい。又、被処理体の搬入、搬出を容易にすべく、昇降可能なリフトピンを有する構成も保持手段として好ましいものである。

【0113】加えて、プラズマ中の粒子の動きや位置を制御すべく、バイアス印加手段を保持手段に設け、被処理体に直流ないし交流バイアスを印加し得る構成にすることも好ましい。

【0114】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において、より低圧で処理するために、磁界発生手段を用いても良い。本発明のプラズマ処理装置及び処理方法において用いられる磁界としては、ミラー磁界なども適用可能であるが、環状導波路の複数のスロットの中心を結ぶ曲線上にループ磁界を発生しスロット近傍の磁界の磁束密度は基板近傍の磁界の磁束密度よりも大きいマグネトロン磁界が最適である。磁界発生手段としては、コイル以外でも、永久磁石でも使用可能である。コイルを用いる場合には過熱防止のため水冷機構や空冷など他の冷却手段を用いてもよい。

【0115】また、処理のより高品質化のため、紫外光を基体表面に照射してもよい。光源としては、被処理基体もしくは基体上に付着したガスに吸収される光を放射するものなら適用可能で、 $\text{ArF}$ 又は $\text{KrF}$ 或いは $\text{XeCl}$ 等のダイマーを用いるエキシマレーザ、エキシマランプ、希ガス共鳴線ランプ、低圧水銀ランプなどが適当である。

【0116】そして、本発明においては、 $0.8\text{GHz}$ 乃至 $20\text{GHz}$ の範囲から選択されるマイクロ波を発生するマグネトロン等のプラズマ発生器を用いることが好ましく、チューナーやアイソレータやモード変換器等を付設して、所定のモードのマイクロ波を、上述したマイクロ波供給器まで伝搬・供給する。

【0117】マイクロ波供給器の導入口に導入されるマイクロ波としてはTEモードのマイクロ波が好ましく用いられ、特に $\text{TE}_{n0}$ モード又は $\text{H}_{0n}$ モードと呼ばれる(ここで $n$ は自然数)マイクロ波を導入することがより好ましい。

【0118】そして、環状導波路内においても、マイクロ波の電界ベクトルはスロット付の平面に垂直なものとなり、この平面がH面となる。

【0119】環状導波路3a内においても、マイクロ波は $\text{TE}_{10}$ モード( $\text{H}_{01}$ モード)で伝搬するが、最終的には定在波が生じる場合もあるので、この場合の導波路3

とも可能である。

【0120】次に本発明による処理方法について述べる。

【0121】まず、容器1を開けて、被処理体保持手段2上に被処理体を載せて、容器1を閉じる(図10の工程S1)。

【0122】次に、容器1内を不図示の真空ポンプにより大気圧から約1.3Pa以下になるまで減圧する(図10の工程S2)。

【0123】そして、ガス供給手段7のガス放出口7a 10から容器1内にガスを放出する(図10の工程S3)。

【0124】容器1内の圧力が安定したら、不図示のマイクロ波発振器をオンしてマイクロ波を発生させ、本発明マイクロ波導入手段3より容器1内にマイクロ波を供給する(図10の工程S4)。

【0125】容器1に必要なに応じて設けられたモニター窓を透してプラズマ発光を観察する。

【0126】所定の処理時間が経過したら、マイクロ波の供給を停止する(図10の工程S5)。

【0127】容器1内のガスをパージ用の窒素Ar, H 20e, Ne又はクリーンエア等のガスに置換し、大気圧までもどす(図10の工程S6)。

【0128】そして、容器1を開けて、被処理体を搬出する(図10の工程S7)。

【0129】以上の処理を一枚の被処理体毎にくり返し行えばよい。

【0130】本発明のマイクロ波プラズマ処理方法におけるプラズマ処理室内の圧力は0.1mTorr(約0.133Pa)乃至10Torr(約1330Pa)の範囲、より好ましくは、CVDやプラズマ重合や表面 30改質の場合1mTorr(約0.133Pa)乃至100mTorr(約13.3Pa)、エッチングの場合0.5mTorr(約0.067Pa)から50mTorr(約6.67Pa)、アッシングの場合範囲100mTorr(約13.3Pa)から10Torr(約1330Pa)の範囲から選択することができる。又、クリーニングの場合は0.067Pa~13.3Paにするとよい。

【0131】本発明のマイクロ波プラズマ処理方法による堆積膜の形成は、使用するガスを適宜選択することによりSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, TiN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, MgF<sub>2</sub>, AlF<sub>3</sub>などの絶縁膜、a-Si(アモルファスシリコン), poly-Si(ポリシリコン), SiC, GaAsなどの半導体膜、Al, W, Mo, Ti, Taなどの金属膜等、TiN, TiW, TiSiN等の各種の堆積膜を効率よく形成することが可能である。

【0132】本発明のプラズマ処理方法により処理する被処理体112は、半導体であっても、導電性のもので

そして、その表面が、半導体、絶縁体、導電体或いはそれら3つの複合表面になっていてもよい。

【0133】導電性基体としては、Fe, Ni, Cr, Al, Mo, Au, Nb, Ta, V, Ti, Pt, Pbなどの金属またはこれらの合金、例えば真鍮、ステンレス鋼などが挙げられる。

【0134】絶縁性基体としては、SiO<sub>2</sub>系の石英や各種ガラス、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, NaCl, KCl, LiF, CaF<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, MgOなどの無機物、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミドなどの有機物のフィルム、シートなどが挙げられる。

【0135】CVD法により基板上に薄膜を形成する場合に用いられるガスとしては、a-Si, poly-Si, SiCなどのSi系半導体薄膜を形成する場合: Si原子を含有する原料ガスとしては、SiH<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>などの無機シラン類、テトラエチルシラン(TEOS), テトラメチルシラン(TMS), ジメチルシラン(DMS), ジメチルジフルオロシラン(DMDFS), ジメチルジクロロシラン(DMDCS)などの有機シラン類、SiF<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, Si<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, SiHF<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SiCl<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>, SiHCl<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, SiH<sub>3</sub>Cl, SiCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>などのハロシラン類等、常温常圧でガス状態であるものまたは容易にガス化し得るものが挙げられる。また、この場合のSi原料ガスと混合して導入してもよい添加ガスまたはキャリアガスとしては、H<sub>2</sub>, He, N 40e, Ar, Kr, Xe, Rnが挙げられる。

【0136】Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>などのSi化合物系薄膜を形成する場合のSi原子を含有する原料としては、SiH<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>などの無機シラン類、テトラエトキシシラン(TEOS), テトラメトキシシラン(TMOS), オクタメチルシクロテトラシラン(OMCTS), ジメチルジフルオロシラン(DMDFS), ジメチルジクロロシラン(DMDCS)などの有機シラン類、SiF<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, Si<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, SiHF<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SiCl<sub>4</sub>, Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>, SiHCl<sub>3</sub>, SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, SiH<sub>3</sub>Cl, SiCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>などのハロシラン類等、常温常圧でガス状態であるものまたはベーパーライザーやバグラーにより容易にガス化し得るものが挙げられる。また、この場合の同時に導入する窒素原料ガスまたは酸素原料ガスとしては、N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, ヘキサメチルジシラザン(HMDS), O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>などが挙げられる。

【0137】Al, W, Mo, Ti, Ta, TiWなどの金属薄膜を形成する場合の金属原子を含有する原料と

チルアルミニウム (TEAl), トリイソブチルアルミニウム (TIBA1), ジメチルアルミニウムハイドライド (DMA1H), タングステンカルボニル ( $W(CO)_6$ ), モリブデンカルボニル ( $Mo(CO)_6$ ), トリメチルガリウム (TMGa), トリエチルガリウム (TEGa) などの有機金属、 $AlCl_3$ ,  $WF_6$ ,  $TiCl_3$ ,  $TaCl_5$  などのハロゲン化金属等が挙げられる。また、この場合、上述したSi原料ガスと混合して導入してもよい。又、添加ガスまたはキャリアガスとしては、 $H_2$ ,  $He$ ,  $Ne$ ,  $Ar$ ,  $Kr$ ,  $Xe$ ,  $Rn$  が 10 挙げられる。

【0138】 $Al_2O_3$ ,  $AlN$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $TiN$ ,  $WO_3$ ,  $TiW$ ,  $TiSiN$  などの金属化合物薄膜を形成する場合の金属原子を含有する原料としては、トリメチルアルミニウム (TMA1), トリエチルアルミニウム (TEAl), トリイソブチルアルミニウム (TIBA1), ジメチルアルミニウムハイドライド (DMA1H), タングステンカルボニル ( $W(CO)_6$ ), モリブデンカルボニル ( $Mo(CO)_6$ ), トリメチルガリウム (TMGa), トリエチルガリウム 20 ( $TEGa$ ) などの有機金属、 $AlCl_3$ ,  $WF_6$ ,  $TiCl_3$ ,  $TaCl_5$  などのハロゲン化金属等が挙げられる。また、この場合の同時に導入する酸素原料ガスまたは窒素原料ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2H_4$ , ヘキサメチルジシラゼン (HMDS) などが挙げられる。

【0139】基体表面をエッチングする場合の処理用ガス導入口115から導入するエッチング用ガスとしては、 $F_2$ ,  $CF_4$ ,  $CH_2F_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $CF_2Cl_2$ ,  $SF_6$ ,  $NF_3$ ,  $Cl_2$ ,  $CCl_4$ ,  $CH_2Cl_2$ ,  $C_2Cl_6$  などが挙げられる。 30

【0140】フォトレジストなど基体表面上の有機成分をアッシング除去する場合の処理用ガス導入口115から導入するアッシング用ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$  などが挙げられる。

【0141】又、クリーニングの場合は、上記エッチング用ガス又はアッシング用ガス或いは水素ガスや不活性ガスが用いられる。

【0142】また、本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法を表面改質にも適用する場合、使用する 40 ガスを適宜選択することにより、例えばSi, Al, Ti, Zn, Taなどからなる基体もしくは表面層の酸化処理あるいは窒化処理さらにはB, As, Pなどのドーピング処理等を行うこともできる。更に本発明において採用する成膜技術は上述したとおりクリーニング方法にも適用できる。その場合酸化物あるいは有機物や重金属などのクリーニングに使用することもできる。

【0143】基体を酸化表面処理する場合の酸化性ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$

の酸化性ガスとしては $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2H_4$ , ヘキサメチルジシラゼン (HMDS) などが挙げられる。

【0144】特に、基体表面の有機物をクリーニングする場合、またはフォトレジストなど基体表面上の有機成分をアッシング除去する場合のガス導入口105から導入するクリーニング/アッシング用ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$  などが挙げられる。また、基体表面の無機物をクリーニングする場合のプラズマ発生用ガス導入口から導入するクリーニング 用ガスとしては、 $F_2$ ,  $CF_4$ ,  $CH_2F_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $CF_2Cl_2$ ,  $SF_6$ ,  $NF_3$  などが挙げられる。

【0145】又、マイクロ波電源より供給するマイクロ波電力は、マイクロ波放射強度の均一性向上の為に、環状導波路内を1周以上より好ましくは2周以上スロットよりマイクロ波を放射しつつ伝搬できるに十分な値とするとよい。この場合、分配器は設けない方がよい。

【0146】(プラズマ処理装置) 以下マイクロ波プラズマ処理装置をより具体的に説明する。

【0147】(第1のプラズマ処理装置) 第1のプラズマ処理装置の具体例は図1、図2を参照して説明したとおりのものである。

【0148】(第2のプラズマ処理装置) マイクロ波プラズマ処理装置の、二分配干渉型平板状スロット付環状導波管を用いた装置例を、図11を用いて説明する。109は容器101内のプラズマ発生室、104はプラズマ処理室109を大気側から分離する誘電体窓、103はマイクロ波をプラズマ発生室109内に供給するためのマイクロ波供給手段管、105は平板状スロット付H面をもつ環状導波路103b内にマイクロ波を導入する 30 為の矩形導波管、103aはマイクロ波供給手段103内をマイクロ波が伝搬する矩形断面をもつマイクロ波伝搬空間である導波路、103bはマイクロ波を導入するスロット、Wは被処理体、102は保持手段、114は加熱手段としてのヒーター、107はガス供給手段、108は排気口である。

【0149】このプラズマ処理装置においては、ガス供給系は、少なくともガスボンベ又は気化器或いはバブラー等のガス源21と、バルブ22と、マスフローコントローラー23とを有しており、マスフローコントローラー23によりプラズマ発生室109への供給ガス量が制御される。そして、ガスは斜め上方を向いたガス放出口107aより放出される。

【0150】又、ガス排気系は、少なくとも排気コンダクタンス制御バルブ26と開閉バルブ25と真空ポンプ24とを有しており、排気コンダクタンス制御バルブ26によって、プラズマ発生室109内の処理時の圧力が制御される。

【0151】そして6はマイクロ波電源を示しており、マグネトロン等のマイクロ波発振器を有し、加えて、そ

調整手段が必要に応じて付設されている。

【0152】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。被処理体Wを基体保持手段102上に設置し、ヒーター114を用いて基体Wを所望の温度まで加熱する。排気系（不図示）を介してプラズマ発生室109内を真空排気する。続いて、プラズマ処理用ガスをガス供給手段107を介して所定の流量でプラズマ発生室109内に導入する。次に、排気系（不図示）に設けられたコンダクタンスバルブ（不図示）を調整し、プラズマ発生室109内を所定の圧力に保持する。マイクロ波電源（不図示）より所望の電力を、導波管105よりTE<sub>10</sub>モードで環状導波管103内に導入する。導入されたマイクロ波は、分配器110で二分配され空間103a内を伝搬する。二分配されたマイクロ波は干渉し合い、定在波が生じる。マイクロ波は、管内波長の1/2毎にスロット103bを横切る電界を強め、スロット103bを介し誘電体窓104を透してプラズマ発生室109に供給される。プラズマ発生室109内に供給されたマイクロ波の電界により電子が加速され、例えばプラズマ処理室109の上部にプラズマPが発生する。この際、処理用ガスは、発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段102上に載置された被処理基体Wの表面を処理する。

【0153】誘電体窓104は、直径299mm、厚さ12mmの合成石英で作製する。平板状スロット付環状導波管103は、内壁断面の寸法が27mm×96mmであって、中心径が202mmのTE<sub>10</sub>モードのマイクロ波を伝搬し得るものである。平板状スロット付環状導波管103の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべてA1を用いる。平板状スロット付環状導波管103のH面には、マイクロ波をプラズマ発生室109へ導入するためのスロットが形成されている。スロットの形状は長さ42mm、幅3mmの矩形であり、管内波長の1/2間隔に放射状に形成されている。管内波長は、使用するマイクロ波の周波数と、導波管の断面の寸法とに依存するが、周波数2.45GHzのマイクロ波と、上記の寸法の導波管とを用いた場合には約159mmである。使用した平板状スロット付環状導波管103では、スロット103bは約79.5mm間隔で8個形成されている。平板状スロット付環状導波管103には、4Eチューナ、方向性結合器、アイソレータ、2.45GHzの周波数を持つマイクロ波電源（不図示）が順に接合されており、TE<sub>10</sub>モードのマイクロ波を導入するようになっている。

【0154】図11に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用して、Ar流量500sccm、圧力10mTorrと1Torr、マイクロ波パワー1.5kWの条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。プラズマ計測は、シングルプローブ法により以下

から+100Vの範囲で変化させ、プローブに流れる電流をI-V測定器により測定し、得られたI-V曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。その結果、電子密度は、10mTorrの場合 $1.3 \times 10^{12} / \text{cm}^3 \pm 2.1\%$ （φ200面内）、1Torrの場合 $7.2 \times 10^{11} / \text{cm}^3 \pm 5.3\%$ （φ200面内）であり、高圧領域でも高密度で均一なプラズマが形成されていることが確認された。

【0155】（第3のプラズマ処理装置）マイクロ波プラズマ処理装置の、接線導入型平板状スロット付環状導波管を用いた装置例を、図12を用いて説明する。109はプラズマ発生室、104はプラズマ処理室109を大気側から分離する誘電体窓、103はマイクロ波をプラズマ発生室109に供給するためのマイクロ波供給手段、205は平板状スロット付環状導波管103の外周の正面に設けられたマイクロ波を導入する導入部、103aは平板状スロット付環状導波管103内をマイクロ波が伝搬する矩形断面をもつマイクロ波伝搬空間、103bは平板状スロット付環状導波管103のH面に設けられたマイクロ波を放射するスロット、102は被処理体Wの保持手段、114は被処理体Wを加熱するヒーター、107は処理用ガス導入手段、108は排気口である。

【0156】このプラズマ処理装置においては、ガス供給系は、少なくともガスボンベ又は気化器或いはバブラー等のガス源21と、バルブ22と、マスフローコントローラー23とを有しており、マスフローコントローラー23によりプラズマ発生室109への供給ガス量が制御される。ガスは斜め上方を向いたガス放出口107aより誘電体窓に向けて放出される。又、ガス排気系は、少なくとも排気コンダクタンス制御バルブ26と開閉バルブ25と真空ポンプ24とを有しており、排気コンダクタンス制御バルブ26によって、プラズマ発生室109内の処理時の圧力が制御される。

【0157】そして、6はマイクロ波電源を示しており、マグネトロン等のマイクロ波発振器を有し、加えて、そこにはチューナーやアイソレータやモード変換器等の調整手段が必要に応じて付設されている。

【0158】プラズマ処理は以下のとおりである。

【0159】被処理体Wを保持手段102上に載せ、ヒーター144にて被処理体Wを所定の温度まで加熱する。

【0160】排気系（不図示）を介してプラズマ発生室109内を真空排気する。続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス放出口107aを介して所定の流量でプラズマ発生室109内に導入する。次に、排気系（不図示）に設けられたコンダクタンスバルブ（不図示）を調整し、室109内を所定の圧力に保持する。マイクロ波

板状スロット付環状導波管203内に接線導入する。導入されたTE<sub>10</sub>モードのマイクロ波は、管内波長の1/2毎に形成されたスロット103bを介し誘電体窓104を透してプラズマ発生室109内に供給される。室109内に供給されずに管103内を1周伝搬したマイクロ波は、導入部205で新たに導入されたマイクロ波と干渉し強め合い、数周伝搬するまでにほとんどのマイクロ波はプラズマ発生室109内に供給される。供給されたマイクロ波の電界により電子が加速され、プラズマ発生109の上方にプラズマPが発生する。この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段102上に載置された被処理体Wの表面を処理する。

【0161】誘電体窓104は、直径299mm、厚さ16mmの合成石英の板である。平板状スロット付環状導波管103は、内壁断面の寸法が27mm×96mmの矩形断面をもち、中心径が202mmの前述したものと同一導波管である。平板状スロット付環状導波管103の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべてA1を用いている。平板状スロット付環状導波管103のH面には、マイクロ波をプラズマ発生室109へ導入するためのスロットが形成されている。スロットの形状は長さ42mm、幅3mmの矩形であり、管内波長の1/2間隔に放射状に形成されている。管内波長は、使用するマイクロ波の周波数と、導波管の断面の寸法とに依存するが、周波数2.45GHzのマイクロ波と、上記の寸法の導波管とを用いた場合には約159mmである。使用した平板状スロット付環状導波管103では、スロットは約79.5mm間隔で8個形成されている。平板状スロット付環状導波管103には、4Eチューナ、方向性結合器、アイソレータ、2.45GHzの周波数を持つマイクロ波電源（不図示）が順に接合されている。

【0162】図12に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用して、Ar流量500sccm、圧力10mTorrと1Torr、マイクロ波パワー1.5kWの条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。プラズマ計測は、シングルプローブ法により以下のようにして行った。プローブに印加する電圧を-50から+100Vの範囲で変化させ、プローブに流れる電流をI-V測定器により測定し、得られたI-V曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。その結果、電子密度は、10mTorrの場合 $1.8 \times 10^{12} / \text{cm}^3 \pm 2.3\%$ （φ200面内）、1Torrの場合 $7.7 \times 10^{11} / \text{cm}^3 \pm 5.6\%$ （φ200面内）であり、高圧領域でも高密度で均一なプラズマが形成されていることが確認された。

【0163】（第4のプラズマ処理装置）RFバイアス

図13を用いて説明する。109はプラズマ発生室、104はプラズマ発生室109を大気側から分離する誘電体窓、103はマイクロ波をプラズマ発生室109に供給するためのマイクロ波供給手段、102は被処理体Wの保持手段、114は被処理体を加熱するヒータ、107はガス供給手段、108は排気口、302はRFバイアス印加手段である。

【0164】このプラズマ処理装置においては、ガス供給系は、少なくともガスボンベ又は気化器或いはバブラー等のガス源21と、バルブ22と、マスフローコントローラー23とを有しており、マスフローコントローラー23によりプラズマ発生室109への供給ガス量が制御される。ガスはガス放出口107aより誘電体窓104に向けて斜め上方に放出される。

【0165】又、ガス排気系は、少なくとも排気コンダクタンス制御バルブ26と開閉バルブ25と真空ポンプ24とを有しており、排気コンダクタンス特許バルブ26によって、プラズマ発生室109内の処理時の圧力が制御される。

【0166】そして、6はマイクロ波電源を示しており、マグネトロン等のマイクロ波発振器を有し、加えて、そこにはチューナーやアイソレータやモード変換器等の調整手段が必要に応じて付設されている。

【0167】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。被処理体Wを保持手段102上に設置し、ヒータ114を用いて所望の温度に加熱する。排気系（24～26）を介してプラズマ発生室109内を真空排気する。続いて、プラズマ処理用ガスをガス供給手段107をより所定の流量でプラズマ発生室109内に導入する。次に、排気系（24～26）に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、プラズマ発生室109内を所定の圧力に維持する。RFバイアス印加手段302を用いて保持手段102にRF電力を供給するとともに、マイクロ波電源6より所望の電力を、マイクロ波供給手段103のスロット103bを介し誘電体窓104を透してプラズマ発生室109に供給する。プラズマ発生室109内に供給されたマイクロ波の電界により電子が加速され、プラズマ発生室109内にプラズマが発生する。この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段102上に載置された被処理体Wの被処理面を処理する。また、RFバイアスにより被処理体に入射するイオンの運動エネルギーを制御できる。

【0168】冷却手段を用いたマイクロ波プラズマ処理装置について、図14を参照して説明する。109はプラズマ発生室、104はプラズマ発生室109を大気側から分離する誘電体窓、203はマイクロ波をプラズマ発生室109に導入するためのマイクロ波供給手段であり、平板状スロット付無終端環状導波管からなる。10



るクーラ、107はガス供給手段、108は排気口、302はRFバイアス印加手段である。

【0169】このプラズマ処理装置においては、ガス供給系は、少なくともガスボンベ又は気化器或いはバブラー等のガス源21と、バルブ22と、マスフローコントローラー23とを有しており、マスフローコントローラー23によりプラズマ発生室109への供給ガス量が制御される。ガスはガス放出口より斜め上方に放出される。

【0170】又、ガス排気系は、少なくとも排気コンダクタンス制御バルブ26と開閉バルブ25と真空ポンプ24とを有しており、排気コンダクタンス特許バルブ26によって、プラズマ発生室109内の処理時の圧力が制御される。

【0171】そして、6はマイクロ波電源を示しており、マグネトロン等のマイクロ波発振器を有し、加えて、そこにはチューナーやアイソレーターやモード変換器等の調整手段が必要に応じて付設されている。

【0172】冷却手段414は、冷媒を導入する導入管415、冷媒を導出する導出管416とを有するヒートパイプ417を備えている。

【0173】被処理体Wのエッチングやスパッタリング現象により昇温し発生した熱はヒートパイプ417により外部に放出される。

【0174】又、このプラズマ処理装置においては、マイクロ波供給手段203のスロットの長さを、導波路203aのH面の幅hと等しくしているが、前述した各実施の形態のマイクロ波供給手段のスロットのように、スロット203b長さを幅hより短くすることもできる。

【0175】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行う。被処理体Wを保持手段102上に設置し、クーラ114を用いて冷却する。排気系(24～26)を介してプラズマ発生室108内を真空排気する。続いて、プラズマ処理用ガスをガス供給手段107を介して所定の流量でプラズマ発生室109内に供給する。次に、排気系(24～26)に設けられたコンダクタンス制御バルブ(26)を調整し、プラズマ発生室109内を所定の圧力に保持する。RFバイアス印加手段302を用いて保持手段102にRF電力を供給するとともに、マイクロ波電源6より所望の電力を、マイクロ波供給手段203のスロット203bを介し誘電体窓104を透してプラズマ処理室109内に導入する。プラズマ発生109内に供給されたマイクロ波の電界により電子が加速され、プラズマ発生室109内にプラズマが発生する。この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段102上に載置された被処理体Wの表面を処理する。また、RFバイアスにより基板に入射するイオンの運動エネルギーを制御できる。さらにクーラ414を用いることにより、高密度プラズマと高バイアス

熱を抑制することができる。

【0176】図15は、プラズマ処理装置を示す模式的断面図である。

【0177】1は被処理体Wを内部に収容し、プラズマPを発生室9内部に発生し得る真空容器であり、大気開放型の容器である。

【0178】2は被処理体Wを真空容器1内に収容し、保持する為の被処理体保持手段であり、被処理体Wを昇降し得るリフトピン2aを有している。

【0179】3は真空容器1内にプラズマを発生させるマイクロ波エネルギーを供給するマイクロ波供給手段である。

【0180】4は真空容器1内を気密に封止するとともにマイクロ波を透過させる誘電体窓である。

【0181】5はマイクロ波導波管、6はマイクロ波電源である。

【0182】7はマイクロ波によってプラズマ化される処理ガスを供給する為のガス供給路であり、斜め上方を向いた放出路の先にガス放出口7aを有する。

【0183】ガス供給路7は図11～図14のガス供給系(21～23)と同様のガス供給系に連通している。

【0184】8は、真空容器1内を排気する為の排気路であり図11～図14の排気系(24～26)と同様の排気系に連通している。

【0185】図15の装置によるプラズマ処理方法は以下のとおりである。所定の圧力まで減圧、排気された真空容器1内にガス供給路7から処理ガスを供給する。

【0186】処理ガスはプラズマ発生室となる空間9に放出された後、排気路8へと流れていく。

【0187】一方、マイクロ波電源6において発生したマイクロ波は、同軸導波管、円筒導波管又は矩形導波管5を介して伝搬され、マイクロ波供給手段3内に供給される。

【0188】マイクロ波は、マイクロ波供給手段3の無終端環状導波管3a内を伝搬する。

【0189】無終端環状導波路3aのH面3cには、マイクロ波の進行方向と交差する縦長のスロット3bが設けられている為に、そのスリット3bから、空間9に向かって、マイクロ波が放射される。

【0190】マイクロ波は、マイクロ波透過窓4aを透過して空間9内に供給される。

【0191】空間9内には、処理ガスが存在しており、この処理ガスはマイクロ波励起されプラズマPを発生させる。

【0192】被処理体Wの表面には、このプラズマを利用して表面処理が施される。プラズマPは、投入されるマイクロ波の電力や容器内の圧力に応じて、図のようにスロット下方のみに存在することもあるし、又、誘電体窓4の下面全面に拡がることもある。

断面を示す模式図である。

【0194】図17は、マイクロ波供給器3とマイクロ波導波管5との接続部（導入部）の断面図である。

【0195】図18は、マイクロ波供給器3のスロット3bが設けられたH面を下方から見た図である。

【0196】図15のマイクロ波供給手段3は、矩形導波管のE面3dが曲面になるように、矩形導波管を曲げて、環状にしたものと等価である。従って対向する2つのH面はそれぞれ同一平面上に存在する。

【0197】導波管5から例えばTE<sub>10</sub>モードで伝搬してきたマイクロ波は、接続部にあるE分岐ブロックのようなマイクロ波分配器10により相反する方向に分配される。

【0198】無終端環状の導波路3aを伝搬するマイクロ波は、進行方向MDと交差する方向に延びるスロット3bから放出されつつ、伝搬していく。

【0199】このような、マイクロ波供給手段を、平板状スロット付環状導波管とか、平板状マルチスロットアンテナ（PMA）と呼ぶ。

【0200】無終端環状の導波路3aの内では、マイクロ波はスロットからのエネルギー放出により減衰しながら進行し伝搬する。しかも進行方向が両方向である為、進行するマイクロ波同士が干渉し、空間9内には均一な強度のマイクロ波が放射される。

【0201】以下に、特徴をまとめて示す。

【0202】①高密度：周波数の高いマイクロ波を用い、伝搬効率の高い表面波モードが生じているので、電子密度 $10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 台の高密度プラズマが発生する。したがって、高速で反応性の高い処理が可能になる。

【0203】②大口径均一：多くのスロットからマイクロ波を多点導入し、誘電体窓近くに誘電体窓内の表面波の伝搬効率が高く、均一化の難しい磁場を用いずとも電界が誘電体窓近くに局在したプラズマが形成されるので、大口径で均一なプラズマが発生できる。したがって、大面積基板の均一処理が可能になる。

【0204】③低温度・低電位：マイクロ波吸収、即ちプラズマ発生が誘電体窓内面近傍で行われ、電界は窓側に局在し、拡散により基板側のプラズマが形成されるので、電子温度が低く抑えられる。したがって、エッチングの際のノッチ発生、チャージアップダメージ、DUVダメージが抑制される。また、電子温度が低いので、シース電位も低く抑えられ、低ダメージな処理が可能になる。

【0205】④高閉じ込め性：誘電体窓近傍に電界を局在化できるので、プラズマ拡散が抑制される圧力40Pa以上の高圧領域で閉じ込め性の高いプラズマが発生できる。したがって、高度に低ダメージな処理が可能になる。

【0206】容量結合プラズマ（CCP）は電子密度が

ヘリコン波プラズマ（HWP）は電子温度が高い、大口径均一化が難しいなどの問題があり、総合的に本発明が次世代プラズマ源として有力である。

【0207】アッシャーへ応用する場合には、基板にプラズマが接触しては不可なほどの低ダメージでかつ高速な処理が要求されるので、高密度な閉じ込めプラズマを発生できる本発明は最適であると考えられる。

【0208】そして、特に、本発明のプラズマ処理装置においては、ガスをH面に向けて放出するようにしたため、ガスは均一且つ薄い高密度低温プラズマの発生領域を経由して中心に流れる。こうして、被処理体の中央付近においても処理速度が低下することなく、均一な処理が行える。

【0209】次に、本発明の好適な実施の形態による別のマイクロ波供給器について説明する。

【0210】図19は、マイクロ波供給器3の上面外観（a）、横断面（b）及び縦断面（c）を示している。

【0211】このマイクロ波供給器3は直径が互いに異なる複数の環状導波路43、44を有している。

【0212】大口径の外側環状導波路43は、E面となる外側壁49と、もう一つのE面となる内側壁48と、平面状のH面となる上壁53と、もう一つの平面状のH面となる下壁52と、で構成されている。そして、下壁52にはスロット36'が複数設けられている。

【0213】小口径の内側環状導波路44は、同様にE面となる最内側壁47と、上記内側壁48と、上記上壁53、上記下壁52とにより構成されており、下壁52にはスロット36が複数設けられている。

【0214】そして各環状導波路43、44は前出の実施の形態による環状導波路3a（図1他参照）と同様の構成であり、図19の（c）に示すようにそれぞれTEモードでマイクロ波を伝搬し得るような矩形断面を有している。

【0215】54は、外側環状導波路43へのマイクロ波導入口であり、より好ましくは導波路43の矩形断面と同じ大きさの矩形断面をもつ。55は、内側環状導波路44へのマイクロ波導入口であり、より好ましくは導波路44の矩形断面と同じ大きさの矩形断面をもつ。

又、より好ましくは各導波路に終端面を設けずに、無終端環状とした方がよい。

【0216】図19の例は2つの導波管を一体化させて構成したが、個別の環状導波管をある支持台上に円心状に配置したもので、後述するようにスロット付の平板と導波路となる複数の環状溝を有する部材とを含む組み立て体としたものでもよい。

【0217】マイクロ波供給器を組み立てて構成する場合には、外側環状導波路43用のスロット付平板と内側環状導波路44用のスロット付平板とを別体とすることもできる。そして、前述した図5の実施の形態同様、



## 25

ット付平板を用意し、これを交換可能にすれば、所望のマイクロ波放射強度分布に適したマイクロ波供給器を簡単に作製することができる。

【0218】各環状導波路43、44の形状は図19に示したような円に限定されることはなく、図6の実施形態と同様に四角であってもよいし、その他の多角形や星形等であってもよい。

【0219】外側環状導波路43と内側環状導波路44のそれぞれに設けられるスロットの形、数、大きさ、分布は互いに同じであっても異なってもよい。特殊なプラズマ処理に応用する場合を除いては、内側導波路44のスロット3b'の数を、外側導波路43のスロット3b'の数より少なくした方が装置設計が容易になる。

【0220】そして、装置構成を簡略化し、マイクロ波電源を1つで済ます為には、マイクロ波供給器3のマイクロ波導入口54、55近傍に電磁波分配導入手段を構成し、且つマイクロ波の分配比率を定める為の、H分岐器を付設することが好ましい。

【0221】マイクロ波導入口55、56にそれぞれマイクロ波を、例えばTE<sub>no</sub>モードで導入する。

【0222】環状導波路43、44内に導入されたマイクロ波は、分配器10にて互いに反対方向に分配され、時計回り又は反時計回りにTE<sub>no</sub>モードで導波路43、44内をそれぞれ伝搬する。

【0223】伝搬中にマイクロ波はH面に設けられたスロット3b、3b'より外部に放射される。

【0224】互いに反対回りで進行してきたマイクロ波は導波路43、44内で干渉し合い、場合によっては定在波を発生させ、マイクロ波のスロットからの放射強度が安定化する。

【0225】こうして、本発明のマイクロ波供給器によれば、大面積で比較的均一な強度分布のマイクロ波をほぼ面状に放射できる。

【0226】ここで、図20～23を参照して、組み立て型のマイクロ波供給器と、電磁波分配導入手段と、それらを用いたプラズマ処理装置について詳述する。

【0227】図20において1はプラズマ発生室9を形成する為の容器である。4は誘電体窓、3はマイクロ波をプラズマ発生室9に供給する為のマイクロ波供給器としての平板状スロット付多重環状導波管、57は無終端環状導波管3にマイクロ波を導入する為の導波管57、Wは被処理体、2は被処理体Wの保持手段、7は処理用ガス供給手段、8は排気口である。

【0228】マイクロ波供給器は溝付の第1導電部材32と、図21に示すようなスロット3b、3b'付の平板からなる第2導電部材31と、の組み合せて体である。

【0229】そして、マイクロ波導入口54、55の近傍には、マイクロ波の導波路43、44への分配比率を定める為の分配器56が設けられている。図20の装置

## 26

7とH分岐器のような分配器56とを含む。

【0230】分配器56としては、少なくとも2つの分配面をもつ3角形断面の導電体で構成された例を図20に示しているが、これに限られることはなく、板状の部材であってもよい。

【0231】そして、分配器は分配比率を可変にし得る構成にすることもできる。

【0232】本発明に用いられる各導波路43、44への分配機付きH分岐器の例を図22に示す。61はT型分岐の中央に板状もしくは三角柱状の可動の分配ブロック56を設けたものである。62はY型分岐の又の部分を回転可能に可動にしたものである。63は変型Y型分岐の又の部分を回転可能に可動にしたものであり、64は又の部分が伸縮するタイプのものである。

【0233】分配器56は、マイクロ波の入射方向への反射が少なく、一方に対する他方への分配比を少なくとも0.2乃至0.5、より好ましくは0.0乃至0.6までの調整可能であれば、適用可能である。分配器56が伸縮するタイプの場合は、例えば、ネジを用い、ネジの押し込み量を調整することにより高さを調整すれば簡単に伸縮するタイプの分配比率可変の分配器を実現できる。

【0234】一例として、可動部分が回転するチルトタイプにおけるチルト角度に対するマイクロ波強度の関係を図23に示す。分配比率は、インナー側を1とするとアウター側は約0.9～約3.5で変化させることが可能であった。もちろん、分配比を変えたい場合には、分配ブロックの長さあるいは回転角度又は三角柱の形状を適宜変化させればよい。

【0235】なお、電磁波の分配率を調整する機構を有するH分岐器は、プラズマ処理装置のみならず、電磁波の分配率を調整する必要のなる他の場合においても用いられるものである。一方、環状導波管43、44内のE分岐器10は省略することもできる。

【0236】以上説明した本発明のH分岐器、E分岐器や多重環状導波路を構成する部材の材質は、前述したシングル環状導波管の構成部材と同じであり、導電体であれば使用可能であるが、そしてマイクロ波の伝搬ロスをできるだけ抑えるため、導電率の高い、例えば、Al、Cu、Ag/Cuメッキしたステンレス鋼などが最適である。本発明に用いられる多重無終端環状導波路への導入口の向きは、多重環状導波路内のマイクロ波伝搬空間に効率よくマイクロ波を導入できるものであれば、H面に平行に接線方向から導入してもよいし、H面に垂直に導入し導入口付近で内側と外側の導波路に二分配するものでもよい。

【0237】本発明に用いられる多重環状導波路の各導波路に設けられたスロットの形状は、前述したシングル環状導波路のスロット形状と同じでありマイクロ波の伝

れば、矩形でも楕円形でもS字形でも、十字形でもアレイ状でもなんでもよい。

【0238】本発明に用いられる多重環状導波路のスロット間隔やスロット寸法も、前述したシングル環状導波路の場合と同様に選択し設計される。

【0239】そして、各々の環状導波路の矩形断面は互いに異なる面積としてもよいが、同じモードのマイクロ波を伝搬し得るように、マイクロ波の進行方向と垂直な断面が同一矩形断面をもつ導波路を選ぶことが望ましい。

【0240】そして、マイクロ波の放射強度はスロット配置密度等で調整することが望ましい。

【0241】本実施の形態のマイクロ波供給器及びそれを用いたプラズマ処理装置によれば、複数の大きさの異なる環状導波路を同心状に配置しその平面部にスロットを設けた多重環状導波管を用いることにより、直径300mmのウエハ或いはそれに相当するもの以上の大面積基板の処理を行う場合に好適な大面積プラズマを発生することができる。これによりより低温で高品質な処理をより均一に行うことが可能になる。

【0242】特に、環状導波路のH面が同一平面になるように複数の導波路を配設すると、高圧条件下でも大面積基板であっても均一に高密度低電位プラズマを効率的に発生させ得る。また、かかる効果は、磁界を用いずとも達成可能である。

【0243】(第6のプラズマ処理装置)本発明のマイクロ波供給手段として多重無終端導波管を用いたプラズマ処理装置を、図20を用いて説明する。

【0244】1はプラズマ処理室、4はプラズマ発生室9を大気側から分離する誘電体、3はマイクロ波をプラズマ処理室101に導入するための多重無終端環状導波管、56は多重無終端環状導波管3にマイクロ波を分配導入する分配率調整機構付きH分岐器、43、44はマイクロ波が伝搬するマイクロ波伝搬空間である導波路、3b、3b'は多重無終端環状導波管3からプラズマ発生室9内にマイクロ波を供給するスロット、Wは被処理体、2は保持手段、114は被処理体Wを加熱するヒータ、7は処理用ガス供給手段、8は排気口である。ガス放出口7aをH面に向けることもより好ましい。

【0245】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。被処理体Wを保持手段2上に設置し、必要に応じてヒータ114を用いて被処理体Wを所望の温度まで加熱する。排気系(不図示)を介してプラズマ発生室9内を真空排気する。

【0246】続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス放出口7aを介して所定の流量でプラズマ発生室9内に放出する。次に、排気系(不図示)に設けられたコンダクタンスバルブ(不図示)を調整し、プラズマ発生室9内を所定の圧力に保持する。マイクロ波電源6より所望

波路43、44内に導入する。導入されたマイクロ波は、H分岐器56で二分配され伝搬空間である導波路43、44内を時計回り及び反時計回りに数周伝搬する。

【0247】二分配されたマイクロ波は干渉し、例えば管内波長の1/2毎に設けられたスロット3b、3b'を横切る電界を強め、スロット3b、3b'を介し誘電体窓4を透してプラズマ発生室9に供給される。プラズマ発生室9内に供給されたマイクロ波の電界により電子が加速され、プラズマ発生室9内にプラズマが発生する。

10 この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段2上に載置された被処理体Wの表面を処理する。

【0248】例えば誘電体窓4として、材質が合成石英で、直径299mm、厚さ12mmのものを用いる。無終端環状導波路3b、3b'は、マイクロ波の進行方向と垂直な内壁断面の寸法が27mm×96mmであって、内側環状導波路44の中心径が152mm(周長3λg)、外側環状導波路43の中心径が354mm(周長7λg)とする。多重無終端環状導波管部材31、32の材質は、マイクロ波の伝搬損失を抑えるため、すべて導電体としてのA1を用いている。

【0249】多重無終端環状導波管3のH面を構成する部材31には、マイクロ波をプラズマ発生室9へ供給するためのスロットが形成されている。1つのスロット形状は長さ45mm、幅4mmの矩形であり、管内波長の1/2間隔に放射状に形成されている。管内波長は、使用するマイクロ波の周波数と、導波管の断面の寸法とに依存するが、周波数2.45GHzのマイクロ波と、上記の寸法の導波管とを用いた場合には約159mmとなる。

【0250】図20多重無終端環状導波管3では、図21に示すようにスロットは約79.5mm間隔で内側導波路に6個、外側導波路に14個形成されている。多重無終端環状導波管3には、4Eチューナ、方向性結合器、アイソレータを付設した2.45GHzの周波数を持つマイクロ波電源6が順に接続されている。

【0251】図20に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用して、Ar流量500sccm、圧力10mTorrと1Torr、マイクロ波パワー1.5kWの条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。

【0252】プラズマ計測は、シングルプローブ法により以下のようにして行った。プローブに印加する電圧を-50から+100Vの範囲で変化させ、プローブに流れる電流をI-V測定器により測定し、得られたI-V曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。

【0253】その結果、電子密度は、10mTorrの場合 $1.1 \times 10^{12} / \text{cm}^3 \pm 2.7\%$ (φ300面

2% (φ300面内) であり、大口径空間に高密度で均一なプラズマが形成されていることが確認された。

【0254】(第7のプラズマ処理装置) 図24は多重環状導波路の一方143にマイクロ波を接線導入し、他方144に分配器110に向けて導入する方式のプラズマ処理装置を示す。

【0255】101は内部プラズマ発生室109をもつ真空容器、102は被処理体Wを載置し保持する保持手段であり、必要に応じてヒーター114を有している。

【0256】103はマイクロ波供給手段であり、ここでは図20例と同様に複数の環状導波路143、144をもち、そのH面にスロット103b、103b'を有する多重無終端環状導波管が採用されている。マイクロ波電源6からのマイクロ波は、接線導入口105bと法線導入口105aからそれぞれ導波路103b'、103bに導入される。

【0257】マイクロ波はスロット103b、103b'より誘電体窓104を透して室109内に放射される。この装置によるプラズマ処理の方法は以下のとおりである。保持手段102上に被処理体Wを載せ、ヒーター114により所定の温度まで加熱する。

【0258】一方、排気系(24、25、26)を用いて容器101内を排気する。続いてガス供給系(21、22、23)よりガスを供給手段107に所定の流量で導入すると、ガス放出口107aよりガスが放出される。ガス放出口107aの向きをH面に向けることもより好ましい。

【0259】次に排気系(24、25、26)のコンダクタンス制御バルブ26を調整して、室109内を所定の圧力に維持する。

【0260】マイクロ波電源6より所望の電力を、多重無終端環状導波管103内に導入する。導入されたマイクロ波は、管内波長の1/2または1/4毎に形成されたスロット103b、103b'を介し誘電体窓104を透してプラズマ発生室109内に導入される。接線導入された後スロットから放出されずに1周伝搬したマイクロ波は、新たに導入されたマイクロ波と干渉し強め合い、数周伝搬するまでにほとんどのマイクロ波はプラズマ発生室109内に放出される。

【0261】プラズマ発生室109内に導入されたマイクロ波の電界により電子が加速され、プラズマ発生室109内にプラズマが発生する。この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段102上に載置された被処理体Wの表面を処理する。

【0262】誘電体窓104の形状、大きさ、材質は図20の誘電体窓4と同じものが用いられる。

【0263】各導波路143、144の形状や寸法、スロット103b、103b'の形状や寸法や配置密度等も図20の対応する部分と同じである。

置を使用して、Ar流量500sccm、圧力10mTorrと1Torr、マイクロ波パワー1.5kWの条件でプラズマを発生させ、得られたプラズマの計測を行った。プラズマ計測は、シングルプローブ法により以下のようにして行った。プローブに印加する電圧を-50から+100Vの範囲で変化させ、プローブに流れる電流をI-V測定器により測定し、得られたI-V曲線からラングミュアらの方法により電子密度、電子温度、プラズマ電位を算出した。

10 【0265】その結果、電子密度は、10mTorrの場合 $1.3 \times 10^{12} / \text{cm}^3 \pm 3.3\%$  (φ300面内)、1Torrの場合 $6.2 \times 10^{11} / \text{cm}^3 \pm 4.6\%$  (φ300面内) であり、大口径空間に高密度で均一なプラズマが形成されていることが確認された。

【0266】(第8のプラズマ処理装置) 図25のプラズマ処理装置は、図20に示したプラズマ処理装置の保持手段102にRFバイアスを印加するバイアス印加機構302を設けたものである。

20 【0267】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。被処理体Wを保持手段102上に設置し、ヒーター114を用いて所望の温度に加熱する。排気系(24、25、26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気する。

【0268】続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス放出口107aを介して所定の流量でプラズマ発生室109内に放出する。ガス放出口107aの向きをH面に向けることもより好ましい。

30 【0269】次に、排気系(24、25、26)に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、プラズマ発生室109内を所定の圧力に保持する。RFバイアス印加手段302を用いて保持手段102にRF電力を供給するとともに、マイクロ波電源6により所望の電力を、分配率調整機構付きH分岐器56に向けて、導波路57より供給する。分配されたマイクロ波は各導波路143、144内を伝搬し、スロット103b、103b'を介し誘電体302を透してプラズマ発生室109に供給される。プラズマ発生室109内に導入されたマイクロ波の電界により電子が加速され、室内にプラズマが発生する。

40 【0270】この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、保持手段102上に載置された被処理体Wの表面を処理する。また、RFバイアスにより基板に入射するイオンの運動エネルギーを制御できる。

【0271】(第9のプラズマ処理装置) 図26のプラズマ処理装置は、図25のプラズマ処理装置に冷却手段としてのクーラー414を設けたものである。

【0272】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行なう。被処理体Wを保持手段102上に設置し、クーラー414を用いて冷却する。排気系(24、25、

る。

【0273】続いて、プラズマ処理用ガスを処理用ガス放出口107aを介して所定の流量でプラズマ発生室109内に放出する。

【0274】次に、排気系(24、25、26)に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、室109内を所定の圧力に保持する。RFバイアス印加手段302を用いて保持手段102にRF電力を供給するとともに、マイクロ波電源6より所望の電力を、分配率調整機構付きH分岐器56、多重無終端環状導波管103の10 スロット103b、103b'を介し誘電体窓104を透してプラズマ発生室109に供給する。プラズマ発生室109内に導入されたマイクロ波の電界により電子が加速され、室内にプラズマが発生する。

【0275】この際、処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、クーラー414付の保持手段102上に載置され昇温が抑制された被処理体Wの表面を処理する。

【0276】また、RFバイアスにより基板に入射するイオンの運動エネルギーを制御できる。さらにクーラー414を用いることにより、高密度プラズマと高バイアスを用いた場合に問題となるイオン入射による基板の過加熱を抑制することができる。

【0277】(図10のプラズマ処理装置)図27のプラズマ処理装置は、前述した装置同様に、2つの無終端環状導波路43、44が同心状に配されたマイクロ波供給器103を有している。

【0278】マイクロ波供給器103は、溝付の導電部材32とスロット103b、103b'を有する板状の導電部材31との組み立て体である。

【0279】マイクロ波導入口付近には、H分岐器56が設けられその設置角度が調整可能に配されている。

【0280】導波管57から導入されるマイクロ波はH分岐器56により内側導波路44と外側導波路43とに分配されて導入される。

【0281】各導波路43、44内では、マイクロ波は分配器110により時計回り方向と反時計回り方向とに分配され、無終端の各導波路43、44内を伝搬し干渉し合う。各導波路43、44内に導入されたマイクロ波は、スロット103b、103b'より、容器101内の10 プラズマ発生室兼プラズマ処理室109内に誘電体窓104を透して供給される。そして、環状導波路43、44内をそれぞれ2〜3周伝搬するとプラズマを生じ得ない程に減衰する。室109内には、ガス供給手段107の複数のガス放出口107aが設けられている。

【0282】斜め上方を向いたガス放出路の先にあるガス放出口107aからガスが誘電体窓104及び各導波路43、44のH面に向けて放出される。

【0283】容器101の周囲の内壁に、その放出口1

領域P内を經由して室109の中心に向けて放出される。このガス放出口107aの構造は、図1、図2、図6、図9に示した実施の形態と同様に選択し設計し得る。

【0284】7Pはパージガスの供給手段であり、斜め上方を向いたガス放出路の先の放出口は誘電体窓104に向けられている。パージガス供給手段7Pは、窒素、アルゴン等のパージガスの供給系(27〜29)に接続されており、ポンプ27内のパージガスはバルブ28及びマスフローコントローラー29を介して室内に供給される。

【0285】図27の装置を用いた処理は次のとおりである。

【0286】まず保持手段102を下降させて容器を開ける。

【0287】リフトピン102aを上昇させたところに、被処理体Wを載せる。

【0288】リフトピン102aを下降させて、保持手段102直上に被処理体Wを配し、保持手段102を上昇させて、容器を閉じる。

【0289】真空ポンプ24を動かして、排気口108より容器内を排気し、減圧する。

【0290】ガス供給系(21〜23)より所定の流量で処理用ガスを容器内に供給する。こうして、処理ガスは複数のガス放出口107aからスロット付のH面に向けて放出される。

【0291】マイクロ波電源6を動かし、マイクロ波をマイクロ波供給器103に供給する。この時、マイクロ波をTE<sub>10</sub>モードで供給し、その電力は、各導波路43、44を2〜3周伝搬し得るような値例えば1.0kW以上とする。

【0292】この値は、導波路の周長やスロットの大きさ等に依存するので、この値に限定されることはない。

【0293】スロット103b、103b'から放射されたマイクロ波は誘電体窓を透して容器101内のプラズマ発生室間109に供給され処理ガスをプラズマ化する。

【0294】このプラズマのラジカルやイオンや電子を利用して被処理体Wに処理を施す。

【0295】処理が終了したら、パージガスを導入し、大気圧まで容器内圧力を上昇させる。

【0296】保持手段102を下降して、容器を開き、リフトピン102aを上昇させて、被処理体Wを取り出す。

【0297】

【実施例】以下実施例を挙げて本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法をより具体的に説明するが、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

【0298】(参考例1)図11に示したマイクロ波プ

を行った。

【0299】被処理体Wとしては、ホトレジストパターンより露出した層間絶縁膜をエッチングし、ビアホールが形成された直後の8インチシリコンウエハを使用した。まず、Siウエハを保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、 $10^{-5}$ Torrまで減圧させた。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して酸素ガスを2slmの流量で室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンスバルブ26を調整し、発生室109内を2Torrに保持した。マイクロ波電源6より2.45GHz1.5kWのマイクロ波電力をTE<sub>10</sub>モードで平板状スロット付環状導波管103に導入した。かくして、スロット103bからマイクロ波が放射されプラズマを室109内に発生させた。この際、プラズマ処理用ガス供給口107を介して導入された酸素ガスはプラズマ発生室109で励起、分解、反応してオゾンとなり、SiウエハWの方向に輸送され、Siウエハ表面のホトレジストを酸化し、酸化されたホトレジストは気化・除去された。こうしたアッシング後、アッシング速度と基板表面電荷密度などについて評価した。

【0300】得られたアッシング速度は、 $8.6\mu\text{m}/\text{min}\pm 8.5\%$ と極めて大きく、表面電荷密度も $1.3\times 10^{11}/\text{cm}^2$ と充分低い値を示した。

【0301】(参考例2)図12に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、フォトレジストのアッシングを行った。

【0302】被処理体Wとしては、ホトレジストパターンより露出した層間絶縁膜をエッチングし、ビアホールが形成された直後の8インチシリコンウエハを使用した。まずSiウエハを保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、 $10^{-5}$ Torrまで減圧させた。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して酸素ガスを2slmの流量で室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンスバルブ26を調整し、室内を2Torrに保持した。マイクロ波電源6より2.45GHz1.5kWのマイクロ波電力を平板状スロット付環状導波管103内に接線導入した。かくして、スロットからマイクロ波が放射されプラズマ発生室109内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス供給口107を介して導入された酸素ガスはプラズマ発生室109内で励起、分解、反応してオゾンとなり、SiウエハWの方向に輸送され、Siウエハ表面のホトレジストを酸化し、酸化されたホトレジストが気化・除去された。こうしたアッシング後、アッシング速度と基板表面電荷密度などについて評価した。

【0303】得られたアッシング速度は、 $8.9\mu\text{m}/$

$1.4\times 10^{11}/\text{cm}^2$ と充分低い値を示した。

【0304】(参考例3)図11に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子保護用窒化シリコン膜の形成を行った。

【0305】被処理体Wとしては、 $0.5\mu\text{m}$ 巾及び $0.5\mu\text{m}$ ピッチのラインアンドスペースのA1配線パターンが形成された層間絶縁膜付きP型単結晶シリコン基板(面方位<100>、抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ )を使用した。まず、シリコン基板Wを保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、 $10^{-7}$ Torrの値まで減圧させた。続いてヒータ114に通電し、シリコン基板Wを $300^\circ\text{C}$ に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して窒素ガスを600sccmの流量で、また、モノシランガスを200sccmの流量で室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンスバルブ26を調整し、室内を20mTorrに保持した。ついで、マイクロ波電源6より2.45GHz3.0kWのマイクロ波電力をTM<sub>10</sub>モードで平板状スロット付環状導波管103に導入した。かくして、プラズマ発生室109内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス供給口107を介して供給された窒素ガスはプラズマ発生室109内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板Wの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がシリコン基板W上に $1.0\mu\text{m}$ の厚さで形成した。成膜後、成膜速度、応力などの膜質について評価した。応力は成膜前後の基板の反り量の変化をレーザ干渉計Zygo(商品名)で測定し求めた。

【0306】得られた窒化シリコン膜の成膜速度は、 $540\text{nm}/\text{min}$ と極めて大きく、膜質も応力 $1.1\times 10^9\text{dyne}/\text{cm}^2$ (圧縮)、リーク電流 $1.2\times 10^{-10}\text{A}/\text{cm}^2$ 、絶縁耐圧9MV/cmの極めて良質な膜であることが確認された。

【0307】(参考例4)図12に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、プラスチックレンズ反射防止用酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の形成を行った。

【0308】被処理体としては、直径50mmプラスチック凸レンズを使用した。レンズを保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、 $10^{-7}$ Torrの値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して窒素ガスを150sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンスバルブ26を調整し、室内を5mTorrに保持した。ついでマイクロ波電源6より2.45GHz、3.0kWのマイクロ波電力を平板状スロット付環状導波管103に接線導入した。

され室内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス供給口107を介して供給された窒素ガスは、室内で励起、分解されて窒素原子などの活性種となり、レンズWの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がレンズW上に21nmの厚さで形成された。

【0310】次に、プラズマ処理用ガス供給手段107を介して酸素ガスを200sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、室内を1mTorrに保持した。ついで、マイクロ波電源(不図示)より2.45GHz2.0kWのマイクロ波電力を平板状スロット付環状導波管103内に接線導入した。かくして、プラズマ発生室内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス供給口107を介して供給された酸素ガスは、プラズマ発生室109内で励起、分解されて酸素原子などの活性種となり、レンズの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がレンズ上に86nmの厚さで形成された。成膜後、成膜速度、反射特性について評価した。

【0311】得られた窒化シリコン膜及び酸化シリコン膜の成膜速度はそれぞれ300nm/min、360nm/minと良好で、膜質も、500nm付近の反射率が0.3%と極めて良好な光学特性であることが確認された。

【0312】(参考例5)図13に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子の層間絶縁用酸化シリコン膜の形成を行った。

【0313】被処理体としては、最上部に幅0.5μm、ピッチ0.5μmのラインアンドスペースのA1パターンが形成されたP型の単結晶シリコン基板(面方位<100>、抵抗率10Ωcm)を使用した。まず、シリコン基板Wを保持手段102上に設置した。排気系(24~26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、10<sup>-7</sup>Torrの値まで減圧させた。続いてヒータ114に通電し、シリコン基板を300℃に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して酸素ガスを500sccmの流量で、また、モノシランガスを200sccmの流量で室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、プラズマ発生室301内を30mTorrに保持した。ついで、13.56MHz300Wの高周波電力を保持手段102に印加するとともに、マイクロ波電源より2.45GHz、2.0kWのマイクロ波電力を平板状スロット付環状導波管103にTM<sub>10</sub>モードで導入した。かくして、スロットからマイクロ波が放射されプラズマ発生室109内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガ

起、分解されて活性種となり、シリコン基板の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がシリコン基板W上に0.8μmの厚さで形成された。この時、イオン種はRFバイアスにより加速されて基板に入射しパターン上の膜を削り平坦性を向上させ作用を生じさせている。処理後、成膜速度、均一性、絶縁耐圧、及び段差被覆性について評価した。段差被覆性は、A1配線パターン上に成膜した酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、ボイドを観測することにより評価した。

【0314】得られた酸化シリコン膜の成膜速度と均一性は240nm/min±2.5%と良好で、膜質も絶縁耐圧8.5MV/cm、ボイドフリーであって良質な膜であることが確認された。

【0315】(参考例6)図14に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子の層間の絶縁膜のエッチングを行った。

【0316】被処理体としては、0.35μm幅と0.35μmピッチのラインアンドスペースのA1パターン上に1μm厚の酸化シリコン膜が形成されたP型単結晶シリコン基板(面方位<100>、抵抗率10Ωcm)を使用した。まず、シリコン基板を保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、10<sup>-7</sup>Torrの値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス供給手段107を介してCF<sub>4</sub>を300sccmの流量でプラズマ発生室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、プラズマ発生室109内を5mTorrの圧力に保持した。ついで、13.56MHz300Wの高周波電力を保持手段に印加するとともに、マイクロ波電源6より2.45GHz2.0kWのマイクロ波電力を平板状スロット付環状導波管203内にTM<sub>10</sub>モードで導入した。かくして、スロットからマイクロ波が放射されプラズマ発生室109内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス供給口107を介して供給されたCF<sub>4</sub>ガスはプラズマ発生室109内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板Wの方向に輸送され、自己バイアスによって加速されたイオンによって酸化シリコン膜がエッチングされた。クーラ414により基板温度は90℃を越えて上昇することはなかった。エッチング後、エッチング速度、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされた酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、評価した。

【0317】エッチング速度は600nm/min、対ポリシリコン選択比20と良好であり、エッチング形状もほぼ垂直で、マイクロローディング効果も少ないことが確認された。

【0318】(参考例7)図14に示したマイクロ波プ



リシリコン膜のエッチングを行った。

【0319】被処理体としては、最上部にポリシリコン膜が形成されたP型単結晶シリコン基板（面方位〈100〉、抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ ）を使用した。まず、シリコン基板を保持手段102上に設置した後、排気系（24～26）を介してプラズマ発生室109内を真空排気し、 $10^{-7}\text{Torr}$ の値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して $\text{CF}_4$ ガスを $300\text{sccm}$ 、酸素を $20\text{sccm}$ の流量でプラズマ発生室109内に導入した。ついで、排気系（24～26）に設けられたコンダクタンス制御バルブ26を調整し、プラズマ発生室109内を $2\text{mTorr}$ の圧力に保持した。ついで、 $400\text{kHz}$ 、 $300\text{W}$ の高周波電力を保持手段102に印加するとともに、 $2.45\text{GHz}$ 、 $1.5\text{kW}$ のマイクロ波電力を平板状スロット付環状導波管203内に $\text{TM}_{10}$ モードで導入した。かくして、スロットからマイクロ波が放射されプラズマ発生室109内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス供給口107を介して供給された $\text{CF}_4$ ガス及び酸素はプラズマ発生室401内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板Wの方向に輸送され、自己バイアスにより加速されたイオンによりポリシリコン膜がエッチングされた。クーラ414により、基板温度は $80^\circ\text{C}$ を越えて上昇することはなかった。エッチング後、エッチング速度、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされたポリシリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡（SEM）で観測し、評価した。

【0320】エッチング速度は $800\text{nm}/\text{min}$ 、対 $\text{SiO}_2$ 選択比は30と良好であり、エッチング形状も垂直で、マイクロローディング校かも少ないことが確認された。

【0321】（参考例8）図15に示すプラズマ処理装置を用いて、実施例1と同様にプラズマを用いたホトレジストのアッシングを行った。その結果、均一で残渣のないアッシングが短時間でできた。

【0322】（実施例1）図20に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、ホトレジストのアッシングを行った。

【0323】被処理体Wとしては、ホトレジストパターンから露出した $\text{SiO}_2$ 膜をエッチングし、ビアホールを形成した直後のシリコンウエハ（ $300\text{mm}$ ウエハ）を使用した。

【0324】まず、 $\text{Si}$ ウエハを保持手段2上に設置した後、排気系（不図示）を介して室内を真空排気し、 $10^{-5}\text{Torr}$ まで減圧された。プラズマ処理用ガス供給手段7を介して酸素ガスを $2\text{s1m}$ の流量で室内に導入した。

【0325】ついで、排気系（不図示）に設けられたコンダクタンス制御バルブ（不図示）を調整し、室内を2

【0326】室内に、 $2.45\text{GHz}$ のマイクロ波電源より $2.0\text{kW}$ の電力を、分配率が内側0.5/外側0.5になるように調整されたH分岐器56を利用して多重無終端環状導波管3を介して供給した。

【0327】かくして、室内にプラズマを発生させた。この際、供給された酸素ガスはプラズマ発生室9内で励起、分解、反応してオゾンとなり、シリコンウエハの方向に輸送され、ウエハ上のフォトレジストを酸化し、気化・除去された。アッシング後、アッシング速度と基板表面電荷密度などについて評価した。

【0328】得られたアッシング速度は、 $8.2\mu\text{m}/\text{min} \pm 7.2\%$ を極めて大きく、表面電荷密度も $1.3 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ と充分低い値を示した。

【0329】（実施例2）図24に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、ホトレジストのアッシングを行った。

【0330】被処理体として前記実施例1と同じものを使用した。

【0331】まず、 $\text{Si}$ ウエハを保持手段102上に設置した後、排気系（24～26）を介してプラズマ処理室内を真空排気し、 $10^{-5}\text{Torr}$ まで減圧させた。プラズマ処理用ガス放出口107aを介して酸素ガスを $2\text{s1m}$ の流量でプラズマ処理室内に導入した。

【0332】ついで、排気系（24～26）に設けられたバルブ26を調整し、処理室内を $2\text{Torr}$ に保持した。プラズマ処理室内に、 $2.45\text{GHz}$ のマイクロ波電源より $2.0\text{kW}$ の電力を、分配率が内側0.6/外側0.4に調整された多重無終端環状導波管103を介して供給した。かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス放出口107aを介して放出された酸素ガスはプラズマ処理室内で励起、分解、反応してオゾンとなり、シリコンウエハの方向に輸送され、シリコンウエハ上のホトレジストを酸化し、気化・除去された。アッシング後、アッシング速度と基板表面電荷密度などについて評価した。

【0333】得られたアッシング速度は、 $8.6\mu\text{m}/\text{min} \pm 7.8\%$ を極めて大きく、表面電荷密度も $1.2 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ と充分低い値を示した。

【0334】（実施例3）図20に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子保護用窒化シリコン膜の形成を行った。

【0335】被処理体としては、 $\text{Al}$ の幅 $0.5\mu\text{m}$ 、ピッチ $0.5\mu\text{m}$ のラインアンドスペースパターンが形成された層間絶縁膜付き直径約 $300\text{mm}$ のP型単結晶シリコンウエハ（面方位〈100〉、抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ ）を使用した。

【0336】まず、シリコンウエハを保持手段2上に設置した後、排気系（不図示）を介してプラズマ処理室内を真空排気し、 $10^{-7}\text{Torr}$ の値まで減圧させた。続

℃に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理ガス放出口7aを介して窒素ガスを600sccmの流量で、また、モノシランガスを200sccmの流量で処理室内に導入した。

【0337】について、排気系（不図示）に設けられたコンダクタンス制御バルブ（不図示）を調整し、処理室内を20mTorrに保持した。

【0338】について、2.45GHzのマイクロ波電源（不図示）より3.0kWの電力を、分配率が内側0.45/外側0.55に調整された多重無終端環状導波管3を介して供給した。

【0339】かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス放出口7aを介して導入された窒素ガスはプラズマ処理室内で励起、分解されて活性種となり、シリコンウエハの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がシリコンウエハ上に1.0μmの厚さで形成した。成膜後、成膜速度、応力などの膜質について評価した。応力は成膜前後の基板の反り量の変化をレーザ干渉計Zygo（商品名）で測定し求めた。

【0340】得られた窒化シリコン膜の成膜速度は、540nm/minと極めて大きく、膜質も応力 $1.1 \times 10^9$  dyne/cm<sup>2</sup>（圧縮）、リーク電源 $1.3 \times 10^{-10}$  A/cm<sup>2</sup>、絶縁耐圧9.7MV/cmの極めて良質な膜であることが確認された。

【0341】（実施例4）図24に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、プラスチックレンズ反射防止用膜として酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の形成を行った。

【0342】被処理体Wとしては、直径50mmプラスチック凸レンズを使用した。レンズ保持手段102上に設置した後、排気系（24～26）を介してプラズマ処理室内を真空排気し、 $10^{-7}$ Torrの値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス放出口107aを介して窒素ガスを150sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で処理室内に導入した。

【0343】について、排気系（24～26）に設けられたバルブ26を調整し、処理室内を5mTorrに保持した。ついで、2.45GHzのマイクロ波電源6より3.0kWの電力を、分配率が内側0.7/外側0.3に調整された多重無終端環状導波管103を介してプラズマ処理室内に供給した。

【0344】かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス放出口107aを介して導入された窒素ガスは、プラズマ処理室内で励起、分解されて窒素原子などの活性種となり、レンズの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がレンズ上に21nmの厚さで形成された。

【0345】次に、プラズマ処理用ガス放出口107a

ノシランガスを100sccmの流量で処理室内に導入した。ついで、排気系（24～26）に設けられたバルブ26を調整し、処理室内を1mTorrに保持した。ついで、2.45GHzのマイクロ波電源6より2.0kWの電力を、分配率が内側0.7/外側0.3に調整された多重無終端環状導波管103を介してプラズマ発生室内に供給した。

【0346】かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス放出口107aを介して導入された酸素ガスは、プラズマ処理室内で励起、分解されて酸素原子などの活性種となり、レンズの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がレンズ上に86nmの厚さで形成された。成膜後、成膜速度、反射特性について評価した。

【0347】得られた窒化シリコン膜及び酸化シリコン膜の成膜速度はそれぞれ320nm/min、380nm/minと良好で、膜質も、500nm付近の反射率が0.25%と極めて良好な光学特性であることが確認された。

【0348】（実施例5）図25に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子の層間絶縁膜用の酸化シリコン膜の形成を行った。

【0349】被処理体Wとしては、最上部にA1パターン（ラインアンドスペース0.5μm）が形成された直径約300mmのP型単結晶シリコンウエハ（面方位〈100〉、抵抗率10Ωcm）を使用した。

【0350】まず、シリコンウエハを保持手段102上に設置した。排気系（24～26）を介してプラズマ処理室内を真空排気し、 $10^{-7}$ Torrの値まで減圧させた。続いてヒーター114に通電し、シリコンウエハを300℃に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理用ガス放出口107aを介して酸素ガスを500sccmの流量で、また、モノシランガスを200sccmの流量で処理室内に導入した。

【0351】について、排気系（24～26）に設けられたバルブ26を調整し、プラズマ処理室内を30mTorrに保持した。ついで、13.56MHzの高周波印加手段を介して300Wの電力を保持手段102に印加するとともに、2.45GHzのマイクロ波電源より2.0kWの電力を、分配率が内側0.5/外側0.5に調整された多重無終端環状導波管103を介してプラズマ処理室内に供給した。

【0352】かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス供給手段107を介して導入された酸素ガスはプラズマ処理室内で励起、分解されて活性種となり、シリコンウエハの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がシリコンウエハ上に0.8μmの厚さで形成された。

【0353】この時、イオン種はRFバイアスにより加



上させる。処理後、成膜速度、均一性、絶縁耐圧、及び段差被覆性について評価した。段差被覆性は、Al配線パターン上に成膜した酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、ポイドを観測することにより評価した。

【0354】得られた酸化シリコン膜の成膜速度と均一性は $270\text{nm}/\text{min} \pm 2.3\%$ と良好で、膜質も絶縁耐圧 $9.3\text{MV}/\text{cm}$ 、ポイドフリーであって良質な膜であることが確認された。

【0355】(実施例6)図26に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子用の層間絶縁膜のエッチングを行った。

【0356】被処理体としては、Alパターン(ラインアンドスペース $0.35\mu\text{m}$ )上に $1\mu\text{m}$ 厚の層間 $\text{SiO}_2$ 膜が形成された直径約 $300\text{mm}$ のP型単結晶シリコンウエハ(面方位 $\langle 100 \rangle$ 、抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ )を使用した。

【0357】まず、シリコンウエハを保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ発生室内を真空排気し、 $10^{-7}\text{Torr}$ の値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス放出口107aを介して $\text{CF}_4$ を $300\text{sccm}$ の流量でプラズマ処理室内に導入した。ついで、排気系(24~26)に設けられたバルブ26を調整し、プラズマ処理室内を $5\text{mTorr}$ の圧力に保持した。

【0358】ついで、 $13.56\text{MHz}$ の高周波印加手段302を介して $300\text{W}$ の電力保持手段102に印加するとともに、 $2.45\text{GHz}$ のマイクロ波電源6より $2.0\text{kW}$ の電力を、分配率が内側 $0.4$ /外側 $0.6$ に調整された多重無終端環状導波管103を介してプラズマ処理室内に供給した。かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。

【0359】プラズマ処理用ガス放出口107aを介して導入された $\text{CF}_4$ ガスはプラズマ処理室内で励起、分解されて活性種となり、シリコンウエハの方向に輸送され、自己バイアスによって加速されたイオンによって酸化シリコン膜がエッチングされた。クーラー414により基板温度は $90^\circ\text{C}$ までしか上昇しなかった。エッチング後、エッチング速度、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされた酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、評価した。

【0360】エッチング速度と対ポリシリコン選択比 $690\text{nm}/\text{min}$ 、 $21$ と良好で、エッチング形状もほぼ垂直で、マイクロローディング効果も少ないことが確認された。

【0361】(実施例7)図26に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子用ゲート電極となるポリシリコン膜のエッチングを行った。

が形成された直径 $300\text{mm}$ のP型単結晶シリコンウエハ(面方位 $\langle 100 \rangle$ 、抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ )を使用した。

【0363】まず、シリコンウエハを保持手段102上に設置した後、排気系(24~26)を介してプラズマ処理室内を真空排気し、 $10^{-7}\text{Torr}$ の値まで減圧させた。プラズマ処理用ガス放出口107aを介して $\text{CF}_4$ ガスを $300\text{sccm}$ 、酸素を $20\text{sccm}$ の流量でプラズマ処理室内に導入した。

【0364】ついで、排気系(24~26)に設けられたバルブ26を調整し、プラズマ処理室内を $2\text{mTorr}$ の圧力に保持した。ついで、RFバイアス印加手段302を介して $400\text{kHz}$ の高周波電力 $300\text{W}$ をウエハに印加するとともに、 $2.45\text{GHz}$ のマイクロ波電源より $1.5\text{kW}$ の電力を、分配率が内側 $0.45$ /外側 $0.55$ に調整された多重無終端環状導波管103を介してプラズマ処理室内に供給した。

【0365】かくして、プラズマ処理室内にプラズマを発生させた。プラズマ処理用ガス放出口107aを介して導入された $\text{CF}_4$ ガス及び酸素はプラズマ処理室内で励起、分解されて活性種となり、シリコンウエハの方向に輸送され、自己バイアスにより加速されたイオンによりポリシリコン膜がエッチングされた。クーラー414により、基板温度は $80^\circ\text{C}$ までしか上昇しなかった。

【0366】エッチング後、エッチング速度、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされたポリシリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、評価した。

【0367】エッチング速度と対 $\text{SiO}_2$ 選択比はそれぞれ $870\text{nm}/\text{min}$ 、 $26$ と良好で、エッチング形状も垂直で、マイクロローディング効果も少ないことが確認できた。

【0368】(実施例8)図27に示した装置を用いて実施例9と同様にホトレジストのアッシングを行った。

【0369】その結果、残渣のない均一な処理が短時間で行えた。

【0370】

【発明の効果】本発明によれば、スロット付H面が同一平面となるように複数の環状導波管を同心状に配したことにより、均一且つ大面積の強度分布をもつマイクロ波を放射・供給することができる。こうして、直径約 $300\text{mm}$ のウエハ担当或いはそれに相当するもの以上の大面積の被処理体を良好にプラズマ処理できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】プラズマ処理装置の主要部品を示す模式図である。

【図2】プラズマ処理装置の縦断面を示す模式図である。

【図3】マイクロ波供給器におけるマイクロ波の伝搬と

【図4】プラズマ処理装置におけるスロットとガス放出口と被処理体の位置を示す模式図である。

【図5】マイクロ波供給器を示す模式図である。

【図6】マイクロ波供給器を示す模式図である。

【図7】本発明に用いられるスロットの構成を示す平面図である。

【図8】本発明に用いられる別のスロットの配置例を示す模式図である。

【図9】ガス供給手段の構成を示す模式図である。

【図10】プラズマ処理方法のフローチャートを示す図である。

【図11】別のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図12】更に別のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図13】他のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図14】更に他のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図15】別のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図16】マイクロ波供給器の外観及び断面を示す模式図である。

【図17】マイクロ波供給器のマイクロ波導入部の断面を示す模式図である。

【図18】マイクロ波供給器のスロット付きH面を示す模式図である。

【図19】本発明の実施の形態によるマイクロ波供給器を示す模式図である。

【図20】本発明の別の実施の形態によるマイクロ波供給器とそれを用いたプラズマ処理装置を示す模式図であ

る。

【図21】本発明の別の実施の形態による多重環状導波路に用いられるスロットの配置の例を示す模式図である。

【図22】本発明に用いられるマイクロ波の分配導入手段の各種構造を示す模式図である。

【図23】分配器のチルト角に対するマイクロ波放射強度変化のグラフを示す図である。

【図24】本発明の別のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図25】本発明の更に別のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図26】本発明の他のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図27】本発明の更に他のプラズマ処理装置を示す模式図である。

【図28】従来のマイクロ波供給器の模式的横断面図である。

【図29】従来のマイクロプラズマ処理装置の模式的縦断面図である。

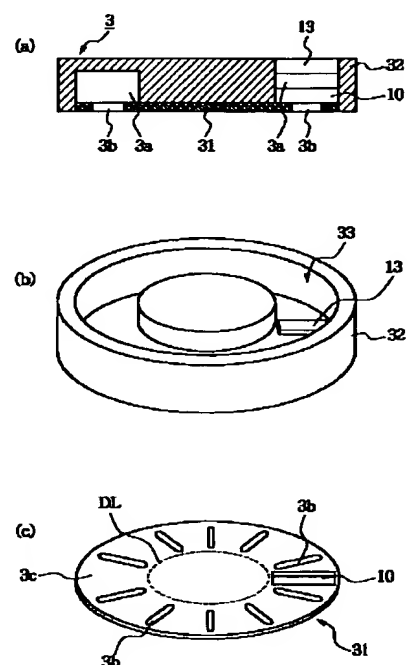
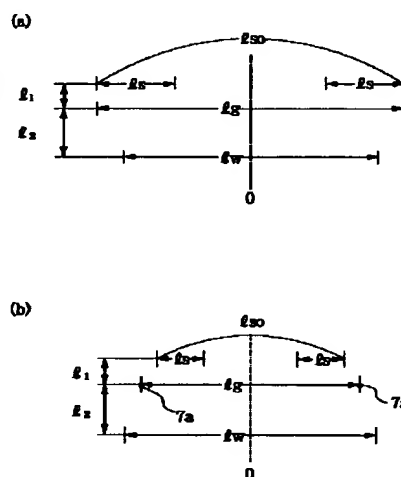
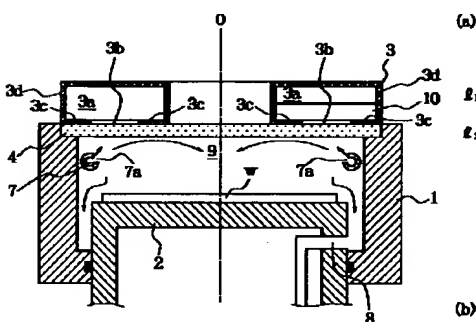
【符号の説明】

- 1 容器
- 2 保持手段
- 3 マイクロ波供給器
- 4 誘電体窓
- 7 ガス供給手段
- 7a ガス放出口
- W 被処理体

【図2】

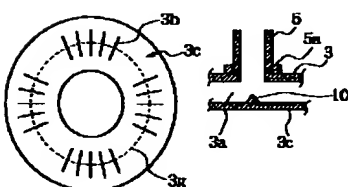
【図4】

【図5】

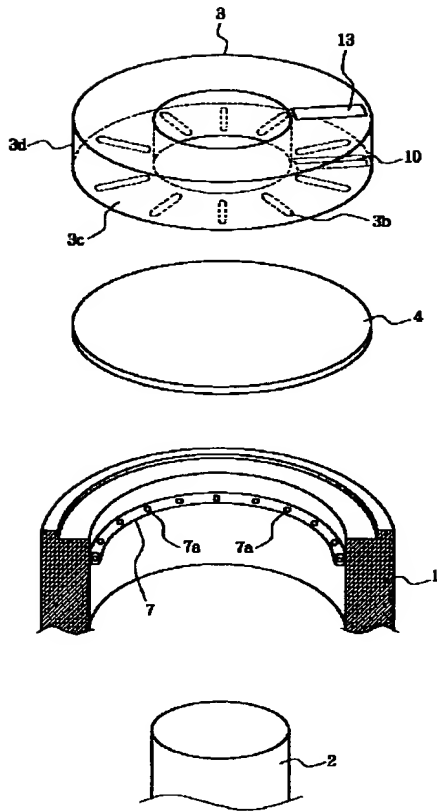


【図8】

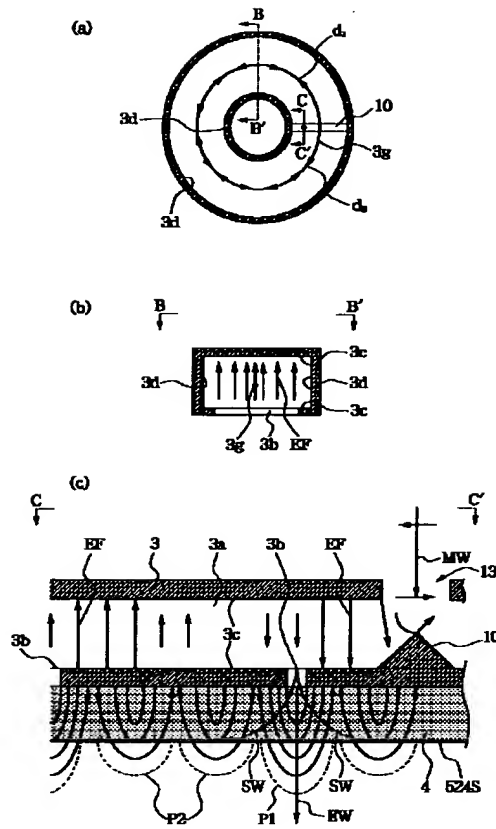
【図17】



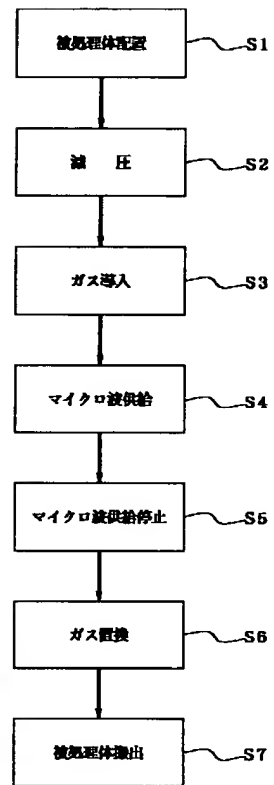
【図1】



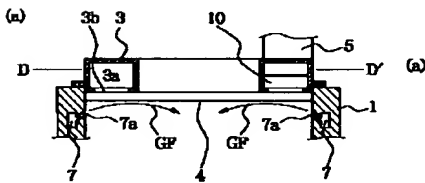
【図3】



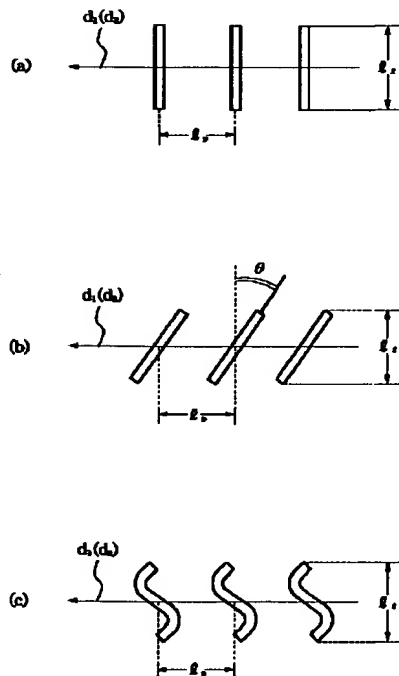
【図10】



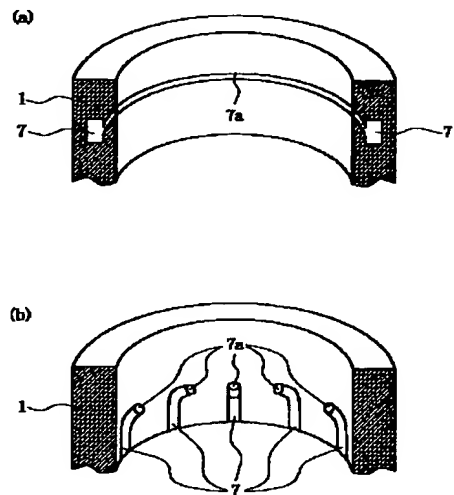
【図6】



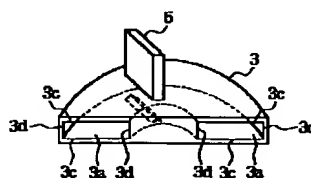
【図7】



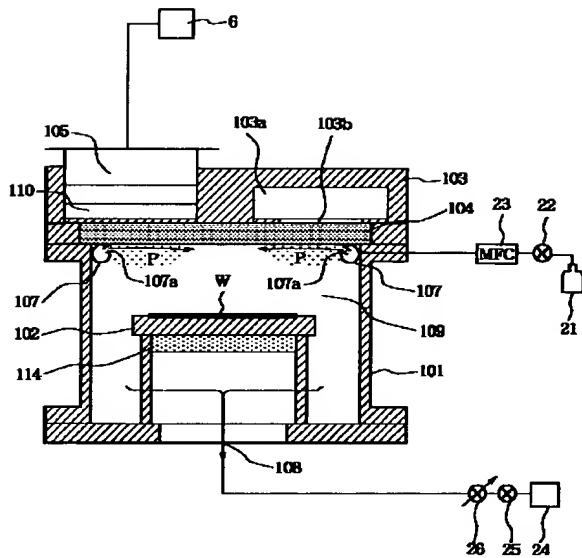
【図9】



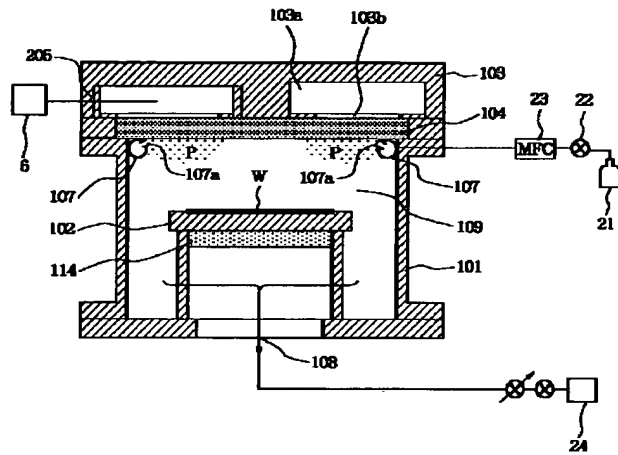
【図16】



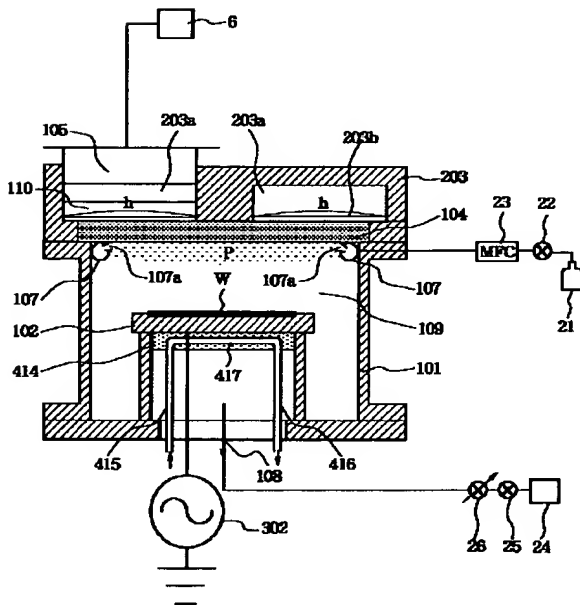
【図11】



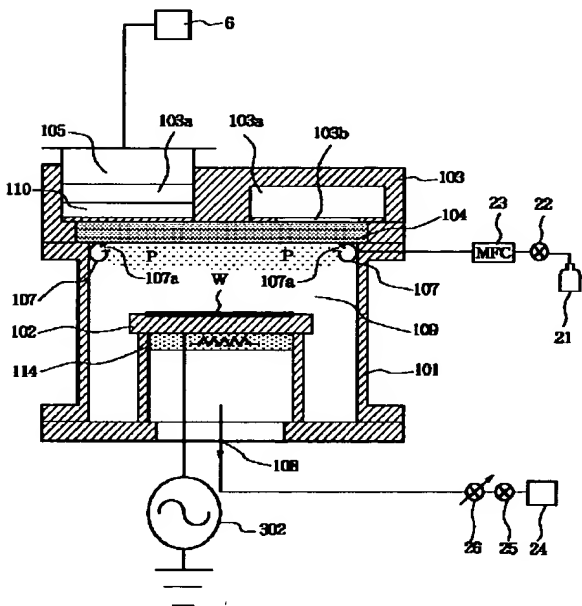
【図12】



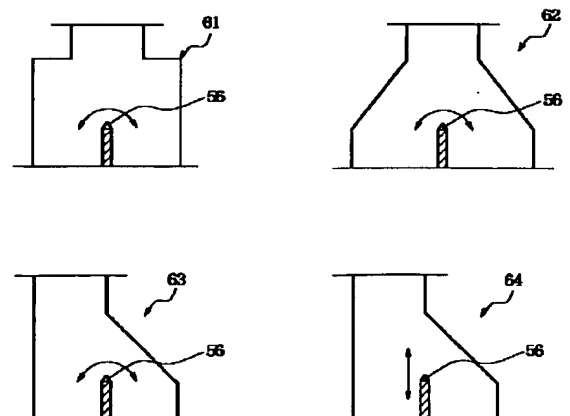
【図14】



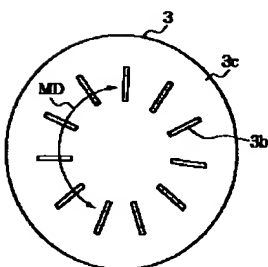
【図13】



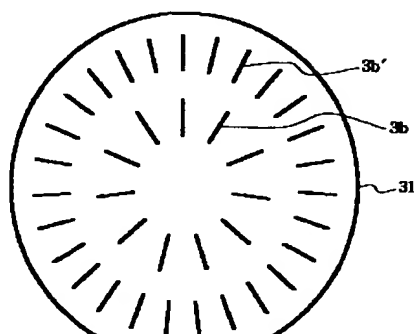
【図22】



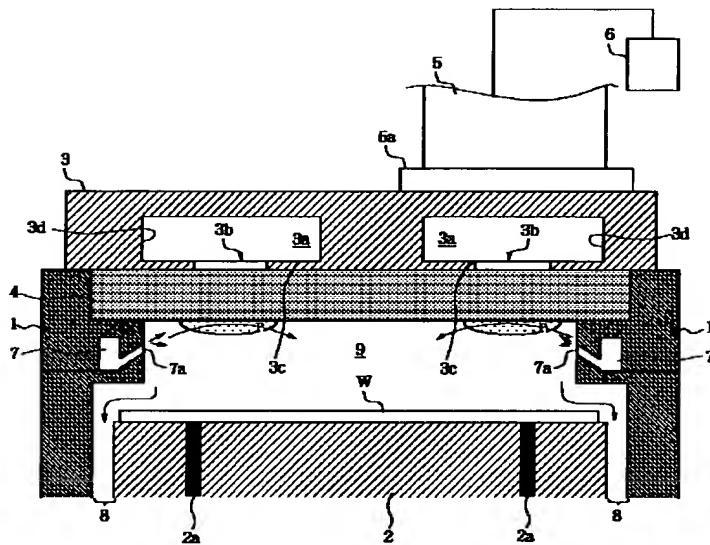
【図18】



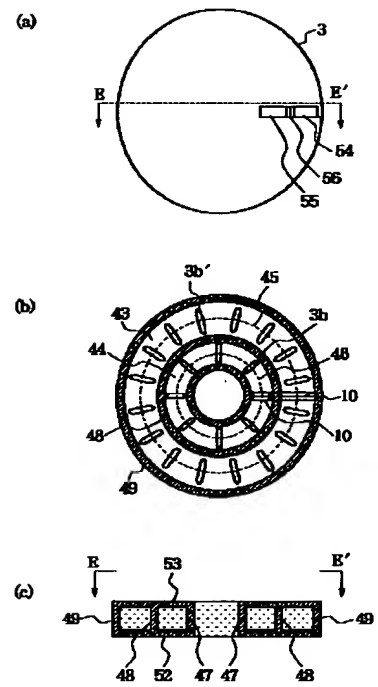
【図21】



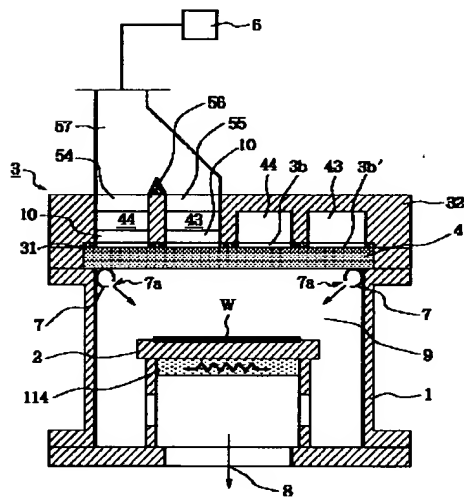
【図15】



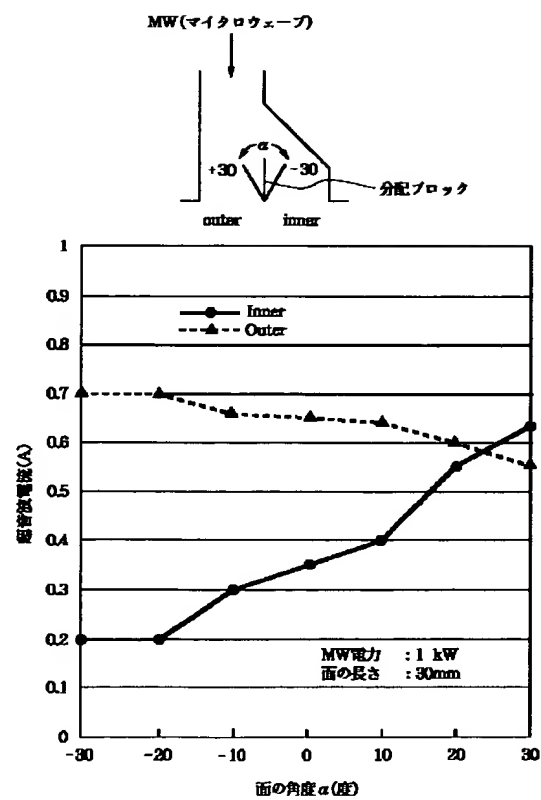
【図19】



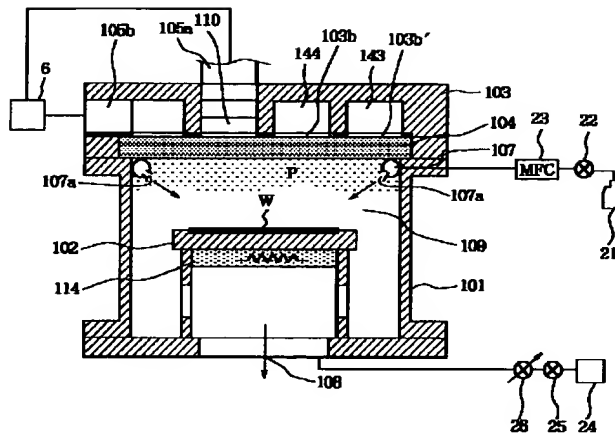
【図20】



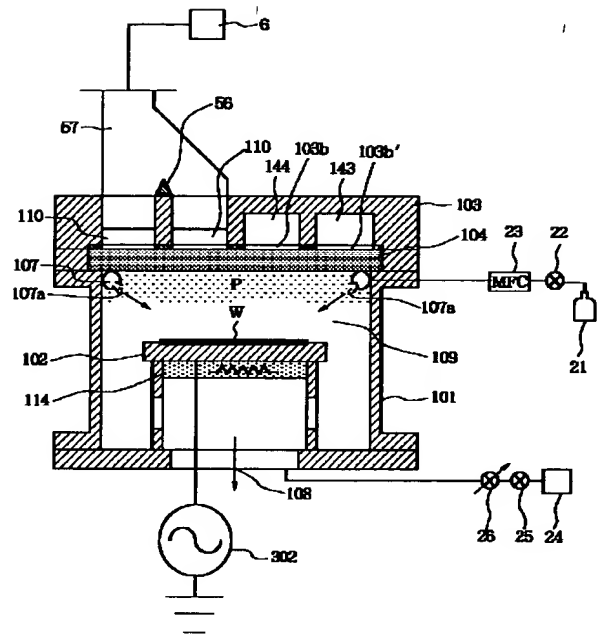
【図23】



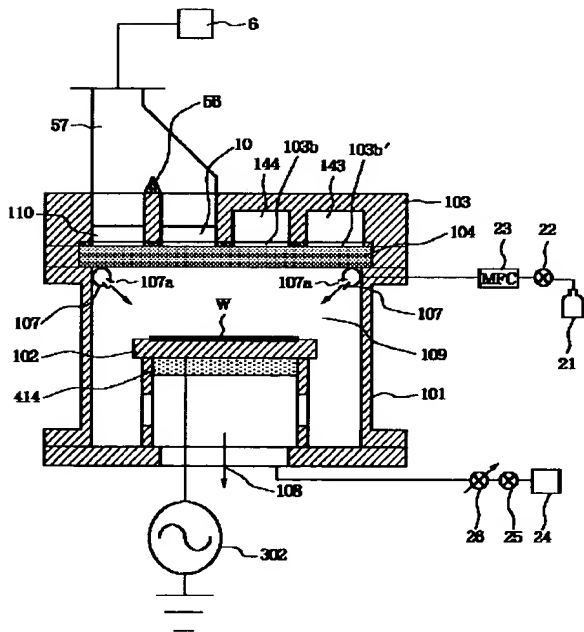
【図24】



【図25】

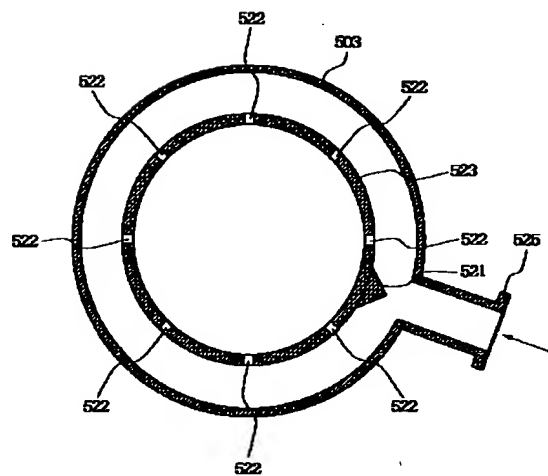


【図26】

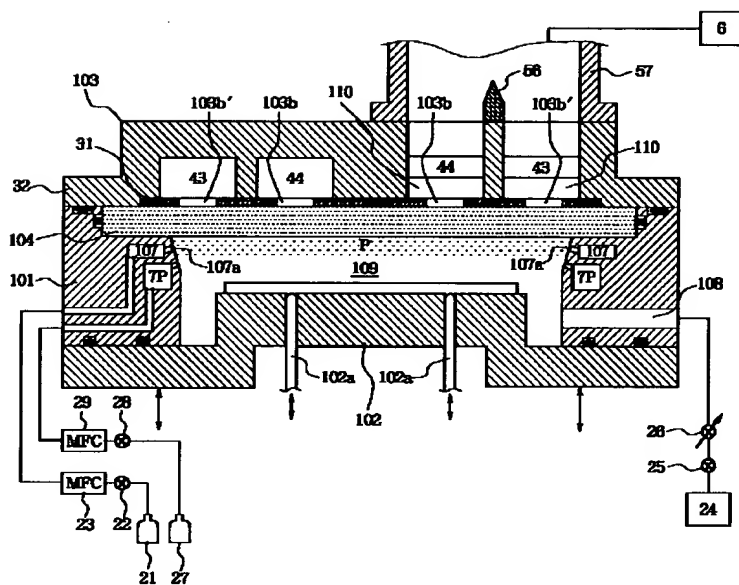


【図28】

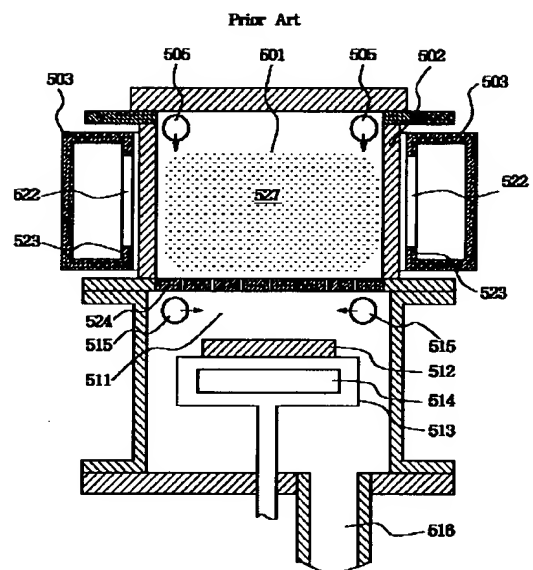
Prior Art



【图27】



【图29】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

FI

H O 1 L 21/3065

H01L 21/31

C

21/31

H01Q 21/06

H 0 1 Q 21/06

H01L 21/302

B